



TÄRINÄMITTARIN ASENNUSTAVAN JA -PAIKAN MERKITYS TÄRINÄMITTAUSTULOKSIIN

Timo Järvinen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2014
Rakennusalan työnjohdon
koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

JÄRVINEN TIMO

Tärinämittarin asennustavan ja -paikan merkitys mittaustuloksiin

Opinnäytetyö 88 sivua, joista liitteitä 24 sivua
Marraskuu 2014

Työn tavoitteena oli tarkastella tärinämittarien sijoittelun ja asennustavan merkitystä mittaustuloksiin. Tarkastelun kohteena olivat heilahdusnopeuden pystykomponentin arvot eri asennustilanteissa. Mittauskalustona toimi Sigicom INFRA Monitoring System-tuotteet ja työmaana Helsingin Meilahden Uusi Lastensairaala.

Työ toteutettiin yhteistyössä Oy Finnrock Ab:n kanssa, joka toimitti tarvittavan mittauslaitteiston. Menetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta, haastatteluja ja tärinämittauksia. Kirjallisuussosiossa perehdyttiin louhintatärinän teoriaan ja vaikutuksiin rakenteille. Rakennusinsinööriliiton julkaisun mukaisesti rakenteille määritettiin ohjearvot, joihin tuloksia verrattiin anturien välisen vertailun ohella.

Mittausosuudessa tärinän suuruutta tarkkailtiin 7-51 metrin etäisyyksillä louhintatyömaan räjäytyksistä. Etäisyysvaikutuksen minimoimiseksi anturit asennettiin minimaalisille etäisyyksille toisistaan. Antureita asennettiin kuitenkin myös rakennetyypiltään erilaisiin kohtiin rakenteita. Työssä kiinnitettiin erityistä huomiota erilaisten asennustapojen ja asennuspaikkojen aiheuttamiin muutoksiin mittaustuloksissa.

Tuloksista koostettiin koulutusmateriaalia tutkimuksen toimeksiantajalle. Materiaalissa kuvataan yleisimmät virheasennustyypit ja tutkimuksessa niistä aiheutuneet mittausvirhemarginaalit asennustyypeittäin. Kooste esitetään yrityksen koulutustilaisuudessa ja se toimii samalla täydentävänä viiteaineistona koulutusaineistossa.

Tutkimuksen perusteella tärinämittareista saadut tulokset ovat erittäin riippuvaisia anturien asennustarkkuudesta ja sijoittelusta. Prosentuaaliset erot tuloksissa olivat eri tavoin asennetuilla mittareilla suuret, ja ne vaativat lisätutkimuksia. Kerätyn aineiston avulla tutkimustyötä voidaan jatkaa tämän opinnäytetyön pohjalta pidemmälle ja analysoida muitakin mitattuja suureita. Lisäksi olosuhdevaikutusten mittaamiseksi tutkimusta tulisi jatkaa toisessa työkohteessa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction site management

TIMO JÄRVINEN

The Importance of Vibration Meter Placement and Installation to the Measurement Results

Bachelor's thesis 88 pages, appendices 24 pages
November 2014

The purpose of this work was to examine how vibration sensor placement and installation affect the measurement results. The focus was on the swing speed values of the vertical component for different installation situations. Sigicom Infra Monitoring System products were used as measuring equipment and the research was conducted in the new children's hospital in Meilahti, Helsinki.

The work was carried out in cooperation with Oy Finnrock AB, who provided the necessary measuring equipment. The methods used in this research included literature research, interviews and experimental studies. Current knowledge of blasting vibration, its progression and effects on structures was compiled to the literature part. In accordance to Rakennusinsinööriliitto's publication the structures were assigned threshold values which were compared to the vibration results measured by the sensors. The results were also compared in sensor pairs and groups.

The experimental studies consisted of vibration magnitude observation from 7 to 51 meters from the blasting sites. To minimize the effect distance has on the measurements most of the sensors were installed with minimal distance to each other. Values were also obtained from different structure types near the other sensors. The emphasis was on the changes made by different installation types and how the placement of sensors affects swing speed values.

The results of this study were compiled in an attachment for the client. The guide describes the most common error types in installation of vibration sensors and the associated measurement error margins for every studied type. The attachment is an additional reference for the company's training material.

Based on the study the measurements recorded by the vibration monitors are highly depended on the accuracy of their installation and placement. The percentage differences in the results in this study were big for the incorrectly installed sensors and they require further studies. Data compiled for this study will help to extend it even further and analyze other measured units. In addition the study could be carried on in another work site to determine the magnitude of condition effects.

Key words: Blasting Vibration, Installation of Vibration Sensors, Installation Errors

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LOUHINTARÄJÄYTYKSEN AALTO-OPPIA	7
2.1	Värähtely.....	7
2.2	Aaltoliike.....	9
2.2.1	Aaltoliike- teoriaa yleisesti	9
2.2.2	Mekaaninen aaltoliike	11
2.3	Tärinäaallon vaikutukset rakenteisiin	13
2.3.1	Ominaisvärähtely	15
2.3.2	Resonanssi.....	16
3	TÄRINÄMITTAUKSEN TEORIA	17
3.1	Rakennusten tärinäohjeavot Suomessa.....	17
3.2	Rakennusinsinööriiliiton suositukset	17
3.3	Ohjeavot.....	18
3.4	Lainsäädäntö ulkomailla	20
3.4.1	Ruotsalainen standardi	20
3.4.2	Saksalainen standardi	21
3.4.3	Yhdysvaltalainen standardi	21
3.5	Suomessa käytetyt mittaussuomenetelmät	22
3.5.1	Mittarien säädöt.....	22
3.5.2	Anturien mittausteoria.....	23
4	TUTKIMUS	25
4.1	Lähtökohdat	25
4.1.1	Asennusvirhetyypit	26
4.1.2	Kohdetiedot.....	26
4.2	Käytetty kalusto ja seuranta.....	26
4.2.1	Anturit	27
4.2.2	Seuranta.....	27
5	MITTARIASENNUKSET	29
5.1	Virheellisesti kiinnitetyt anturit	34
5.1.1	Epätasaisen kontaktipinnan ja pultin kiristyksen merkityksen anturit.....	34
5.1.2	Väärinpäin asennettu anturi.....	36
5.1.3	Vinoon kulmaan asennetut anturit	37
5.2	Asennuspaikan merkityksen anturit.....	38
5.2.1	Kevyeen rakenteen anturit.....	38
5.2.2	Pilariin kiinnitetyt anturit	39

5.2.3	Normaalia ylemmäs asennetut anturit.....	40
5.3	Mittarien säädöt	41
6	TULOSTEN ANALYSOINTI	42
6.1	Asennusvirheiden merkityksen analysointi	43
6.1.1	Epätasaisen kiinnityspinnan merkitys	44
6.1.2	Kiinnityskireyden merkitys mittaustuloksiin	46
6.1.3	Anturin asennus väärinpäin.....	47
6.1.4	Vinoon asentamisen merkitys	49
6.2	Asennuspaikan merkityksen analysointi.....	51
6.2.1	Kevyestä rakenteesta mittaamisen vaikutus	52
6.2.2	Pilarikiinnityksen vaikutus.....	54
6.2.3	Keskeltä seinää mittaamisen vaikutus.....	57
6.2.4	Korkeussuuntainen vaikutus	58
6.2.5	Vähäisen sijaintimuutoksen vaikutus mittaustulokseen.....	61
7	YHTEENVETO	63
	Lähteet:.....	64
	LIITTEET	65
	Liite 1. Mittaustulokset etäisyys- ja aikatietoineen 6.10.- 24.10.2014.....	65
	Liite 2. Esimerkki väärinpäin asennetun anturiyksikön heilahdusnopeuden aaltomuotokäyrästä.	86
	Liite 3. ”Sigicom INFRA V10, V11 and V12”- tuotemanuaalin asennusosio.....	87
	Liite 4. Listausta heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoista räjäytyksittäin aikavälillä 6.10.- 24.10.2014.....	88

1 JOHDANTO

Kiviaineksen louhinnalla on monia ympäristövaikutuksia, joista osa aiheuttaa haittoja ja riskejä. Yksi merkittävimmistä haittailmiöistä on louhinnasta aiheutuva värinä, jonka kontrolloiminen ja seuraaminen on onnistuneen louhintatyön edellytys. Louhinta pyritään suorittamaan kustannustehokkaasti ja ympäristö huomioiden. Alalla yleisesti käytetyn tavan mukaisesti vaativien rakennustöiden ympäristövaikutuksia valvomaan ja dokumentoimaan tilataan värinämittaukseen erikoistunut konsultointiyritys. Konsultointiyrityksen rooli on asettaa louhintatöille reunaehdot sekä valvoa ja dokumentoida louhintatyön ympäristövaikutuksia. Onnistuneen louhintatyön edellytyksenä ovat työtä edeltävät, työn aikana ja sen jälkeen suoritettavat laadunvarmistustoimenpiteet.

Tämä opinnäytetyö käsittelee louhintatöihin liittyviä värinämittariasennuksia. Tarkastelu kohdennetaan Oy Finnrock Ab:n käytössä olevan värinämittauslaitteiston asennustavan ja – paikan merkitykseen mittaustulosten näkökulmasta. Aihetta on tutkittu vain vähän käytännössä. Käsiteltävien värinämittareiden ja antureiden laitevalmistajat ovat omissa ohjeissaan antaneet ohjeita tuotteidensa asennustarkkuuteen, mutta ovat asennuksen kannalta muilta osin puutteellisia.

Kokemuseräisesti mittariasennukset eivät ole aina täyttäneet kaikkia siihen liittyviä vaatimuksia. Joillakin louhintatyömailla niiden teko on jäänyt jonkin muun kuin mittaukseen perehtyneen konsultin hoidettavaksi. Vaikka mittariasennuksesta on saatavilla ohjeet, voi asennus epäonnistua monella tapaa. Tästä johtuen työssä esitetään erilaisia työmailla havaittuja värinäantureiden virheellisiä asennustapoja. Näistä saatuja tuloksia verrataan yleisesti hyväksytysti asennetun anturin tuloksiin. Myös värinämittarien asennuspaikan merkitystä tutkitaan. Saadut tulokset analysoidaan ja niistä luodaan täydentävä ohje tutkimuksen tilaajalle koulutuskäyttöön. Ohje sisältää kuvauksen tutkimuksessa läpikäytyistä asennustapavirheistä ja niiden tulosten eroista verrattuna oikein asennettuun anturiyksikköön.

2 LOUHINTARÄJÄYTYKSEN AALTO-OPPIA

2.1 Värähtely

Maantärinät käsitetään maanpinnan aaltoliikkeeksi, joka aiheutuu seismisten aaltojen etenemisestä. Värähdysliikettä tapahtuu, kun kappaleen liikkeen aikana siihen kohdistuvan voiman suuruus ja suunta muuttuvat. Kappaleen liike tietyistä vaiheesta takaisin samaan vaiheeseen on yksi värähdys eli jakso. Jaksonajaksi kutsutaan yhteen värähdykseen kuluva aika. Yksinkertaisin heilahdusliike on sinimuotoinen, eli niin sanottu harmoninen heilahdus. Heilahdusliikkeen suuruutta kutsutaan siirtymän heilahdusnopeusamplitudiksi ja kappaleen suurinta poikkeamaa tasapainoasemastaan amplitudiksi A . (Lehto & Luoma, 1994, 123, 126; Vuolio, 2010, 298.)

Värähdysliikkeen taajuus eli frekvenssi lasketaan kaavasta (1):

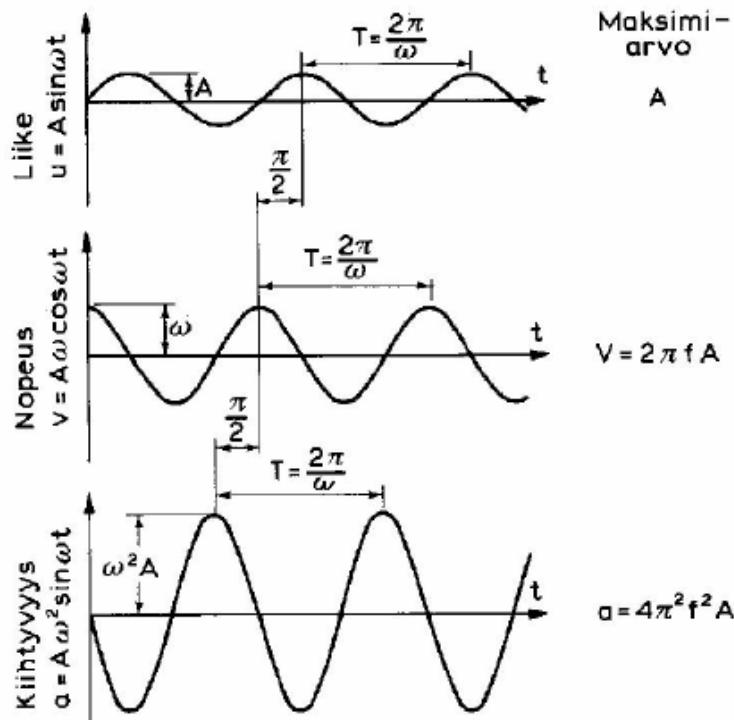
$$f = \frac{n}{T} \quad (1)$$

f = taajuus

n = värähtelyjen lukumäärä /s

T = jaksonaika, eli värähdykseen kulunut aika sekunneissa ($\text{Hz} = 1/\text{s}$)

Harmoniseksi värähtelyksi kutsutaan värähtelyä, jossa tasapainoasemastaan poikkeutettuun kappaleeseen vaikuttaa harmoninen voima. Harmoniseksi voimaksi kutsutaan voimaa, joka suuntautuu aina kohti tasapainoasemaa ja on suoraan verrannollinen tasapainoasemasta mitattuun etäisyyteen. Voiman suuntaa korostetaan miinusmerkillä. (Lehto & Luoma, 1994, 124, 126.) Rakennetta poikkeuttaessa louhintaräjähdyksen aiheuttamalla impulssimaisella kuormituksella, se alkaa värähdellä tasapainoasemansa suhteen. Harmoninen värähtely voidaan esittää kuvan 1 osoittamalla tavalla ajan suhteen. Harmonista värähtelyä havainnollistetaan matemaattisesti ympyräliikkeenä.



KUVA 1. Sinimuotoinen eli harmoninen heilahdus (Vuolio, 2010, 299.)

Värähtelevä kappale ei pysähdy ja sen amplitudi kasvaa, ellei siihen vaikuta ulkoisia voimia. Käytännössä ulkoisia voimia ovat esimerkiksi väliaineen vastus ja kitka, jotka hidastavat aaltoliikettä vähitellen. Amplitudi saavuttaa tietyn arvon vaimentavien voimien seurauksena siten, että värähtelijän vastaanottama ja luovuttama energia ovat yhtä suuret. (Lehto & Luoma, 1994, 124.)

Heilahdusliikkeissä on yleensä eri taajuudella värähteleviä komponentteja, jotka voidaan Fourier-analyysillä erottaa kokonaisvärähtelystä. Louhintaräjähtyksen aiheuttaman lyhytkestoisen iskun värähtely ei ole harmonista, mutta siinäkin värähtelyn komponentit voidaan erottaa Fourier-analyysillä toisistaan. Tässä tapauksessa taajuussisältö riippuu siitä miten pitkää jaksoa tarkastellaan ja mistä värähtelyn vaiheesta analyysi tehdään. (TTY, 2009,7.)

2.2 Aaltoliike

2.2.1 Aaltoliike-teoriaa yleisesti

Värähtelijöiden yhdessä muodostamaa liikettä kutsutaan aaltoliikkeeksi. Etenevässä aaltoliikkeessä aineen rakennehiukkasten vuorovaikutukset siirtävät energiaa, mutta itse aine ei etene. Esimerkiksi louhintatärinä on aineessa etenevä mekaaninen aaltoliike, joka synnyttää maahan häiriön. Kuvan 1 mukainen harmoninen heilahdus on yksinkertaisin heilahdusliike. Vaikkei heilahdus luonnossa ole lähes koskaan sinimuotoista, voidaan räjäytyksen aiheuttamaa maantärinää kuvata käytännön vaatimissa tarkkuuksissa ”siniheilahduksena”. (Langefors & Kihlström 1978; Lehto & Luoma 1994, 138.)

Kuvan 1 mukaan saadaan:

$$u = A \sin \omega T \quad (2)$$

A = siirtymän heilahdusamplitudi (mm tai $\mu = 1/1000$ mm)

u = poikkeama hetkellä ωT

T = jaksonaika

ω = kulmataajuus

Derivoimalla ajan T suhteen poikkeamasta u , saadaan nopeus v ja siitä edelleen kiihtyvyys a . Funktioiden maksimiarvoina saadaan:

$$v = 2 \pi f A \quad (3)$$

$$a = 4 \pi^2 f^2 A \quad (4)$$

Yleisimmin räjäytyksen aiheuttamien tärinöiden tarkkailuun käytetään kaavoja (3) ja (4), joiden tekijät ilmoitetaan seuraavissa mittayksiköissä:

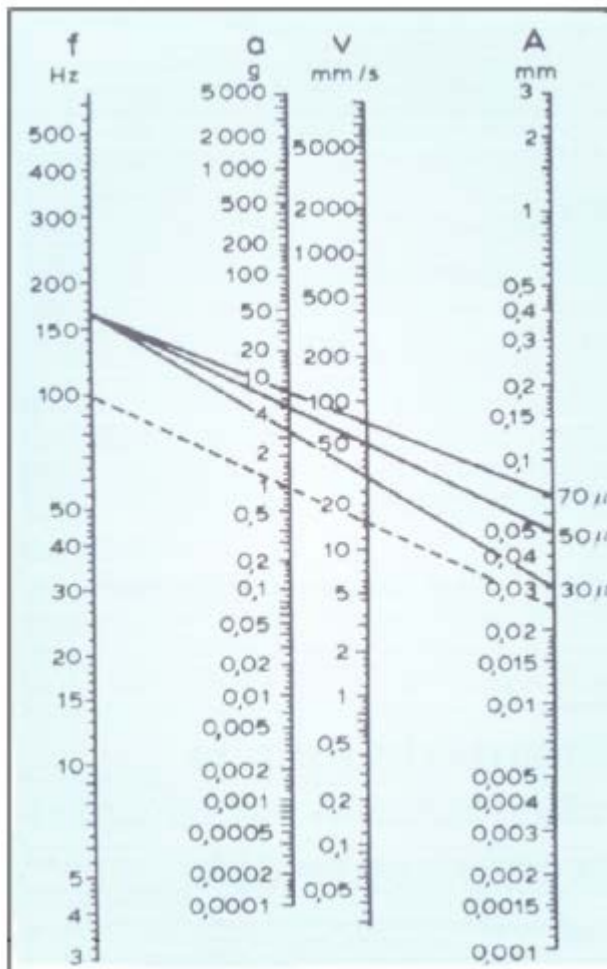
f = taajuus (Hz)

v = heilahdusnopeus (mm/s)

a = kiihtyvyys (m/s^2), yleensä vapaan putoamisliikkeen kiihtyvyyden, g , kerrannaisina;

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (noin)}$$

Ominaisia syy-seurausyhteyksiä aaltoliikkeellä on esimerkiksi taajuuden ja värähdysajan riippuvuus alkulähteestä. Väliaine ja värähtelijöiden väliset kytkennät vaikuttavat aallon nopeuteen ja värähdys-suuntaan. Kaavojen (2-4) väliset riippuvuudet voidaan osoittaa kuvan 2 nomogrammilla.



KUVA 2. Viivotinnomogrammi aaltoliikkeen riippuvuuksista (Vuolio, 2010, 299.)

Esimerkiksi taajuuden ollessa 170 Hz ja heilahdusnopeuden ollessa 50 mm/s on heilahduksen siirtymäamplitudi 50 μ ja äkillinen kiihtyvyys noin 7 mm/s². Aallonpituus määräytyy kaavan (5) mukaan taajuuden eli värähdysajan ja etenemisnopeuden mukaan. Aaltoliikkeen etenemisnopeus voidaan laskea seuraavasti:

$$v = \frac{\lambda}{T} = f \lambda \quad (5)$$

T = värähdysaika

λ = aallonpituus

f = taajuus

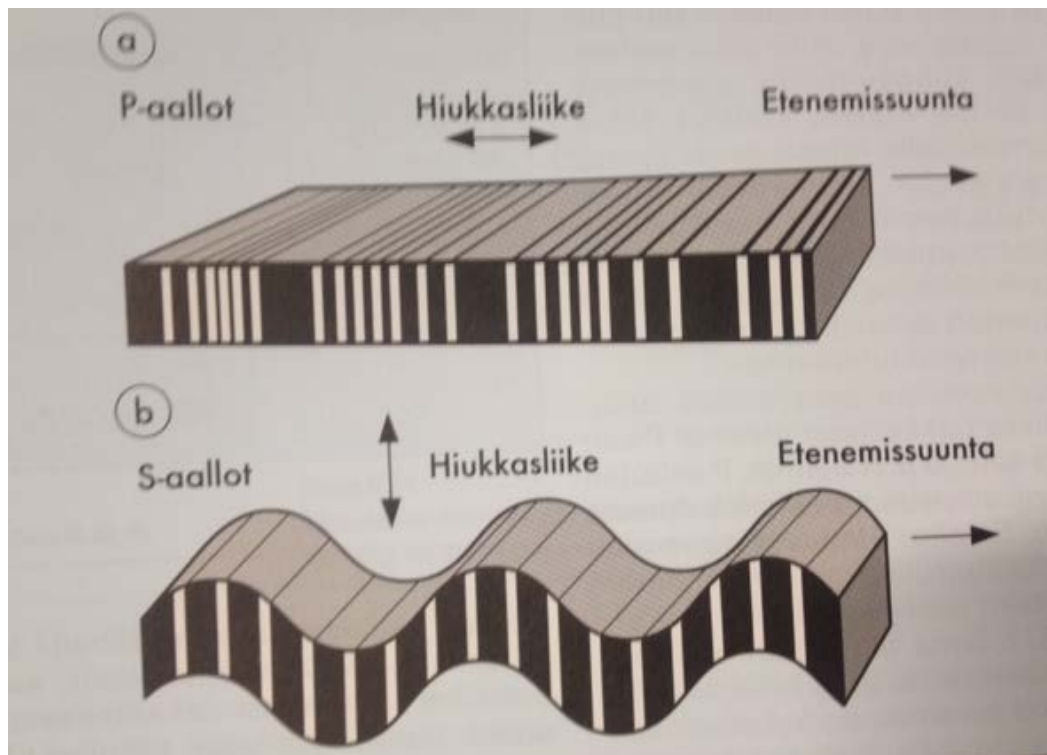
Kyseistä yhtälöä kutsutaan aaltoliikkeen perusyhtälöksi. Lähes kaikki aaltoliikkeet noudattavat sitä (Lehto & Luoma, 1994, 139.)

2.2.2 Mekaaninen aaltoliike

Mekaaninen aaltoliike tarvitsee aina väliaineen. Tärinä-aallot etenevät eri nopeudella topografiasta sekä maa- ja kalliolajista riippuen. Räjähdyksestä kallioon muodostuu jännitysaaltoja, jotka aiheuttavat paitsi kiven irtoamisen, myös väliaineessa massapartikkelien siirtymistä eli tärinää. Ne voivat edetä suoraviivaisesti, tai kohdatessaan vapaan pinnan, heijastua tai taittua. (Vuolio, 1991, 165.)

Shokkiaalto on nopein kaikista räjähdysten aiheuttamista aaltoliikkeistä. Kun räjähdysaine räjähtää porausreiässä, saa syntyvä paineaalto kalliossa aikaan vastareaktioita. Nämä aiheuttavat aineen tiivistymistä ja usein myös pienen alueen murskautumista. Loppuosa paineaallon voimasta jatkaa etenemistä väliaineessa shokkiaaltona, jonka energia on keskittynyt varsin ohueen pallomaiseen kuoreen. (Vuolio, 2010, 299.) Alueella, jolla räjähtäminen vapauttava energia ei enää riitä rikkomaan kalliota havaitaan paine tärinänä. Ylimääräinen vapautuva energia saa aikaan paitsi tärinää myös lämpöä ja ilmanpaineaallon (Aatos, 2003, 94.) Aallon voimakkuuden vaimennettua niin paljon, ettei väliaineessa synny enää pysyviä muutoksia, vaan ainehiukkaset palaavat puristuksen ja vedon loputtua alkuperäiselle paikalleen, on aalto muuttunut kimmoaalloksi. (Vuolio, 2010, 299.)

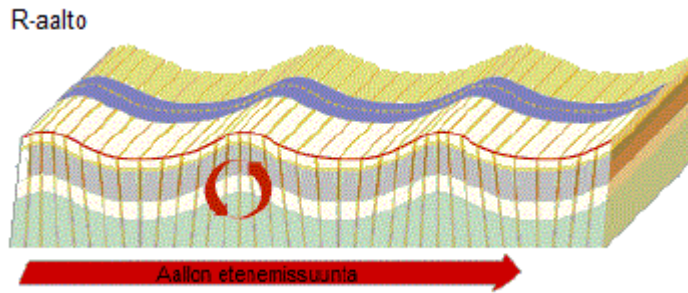
Kimmoaallot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, runkoaaltoihin ja pinta-aaltoihin. Runkoaalloista ovat tunnetuimmat P-aallot, jossa liike tapahtuu pitkittäisesti eli ainehiukkaset siirtyvät etenemissuunnassa ja S-aallot, joissa liike tapahtuu poikittaisesti eli ainehiukkaset siirtyvät kohtisuorasti etenemissuuntaan nähden. (Vuolio, 2010, 299.) Kyseisten aaltoliikkeiden aiheuttamat muutokset maaperässä on havainnollistettu kuvassa 3.



KUVA 3. P- ja S-aaltojen aiheuttamat muodonmuutokset välikappaleessa (Vuolio, 2010)

Pistemäisen panoksen räjähtäminen aiheuttaa homogeenisessa väliaineessa joka suuntaan tasaisen puristuksen, joka erään teorian mukaan synnyttäisi vain P-aaltoja. Käytännössä räjähdyspanos, joka yleensä on sylinterimäinen, aiheuttaa myös leikkausta väliaineessa. Tästä johtuen syntyy räjäytyksissä sekä P- että S-aaltoja. (Vuolio, 2010, 300.)

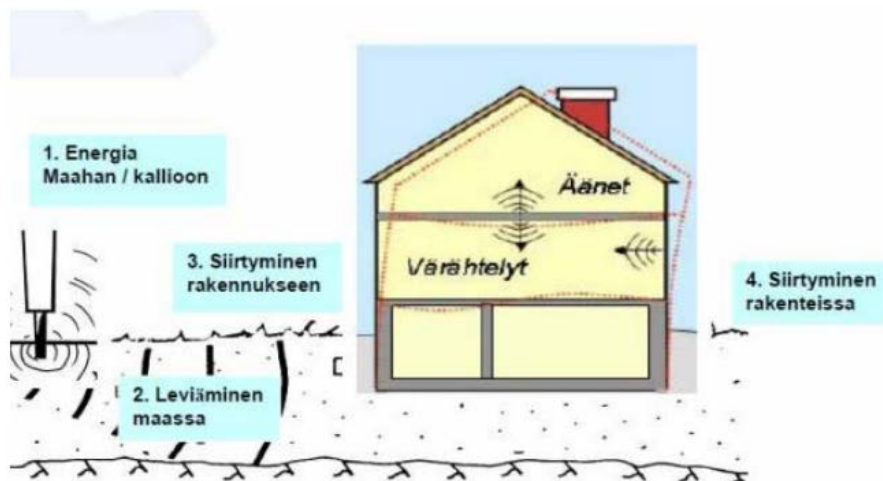
P-aalloista tunnetuin on Rayleigh- aalto, eli R-aalto. Se syntyy, kun pyöristynyt runko-aaltorintama kohtaa vapaan rajapinnan ja taipuu. R-aallon aiheuttama ellipsin muotoinen liike väliaineen pinnan suuntaisena, osittain kohtisuorassa ja tätä pintaa vasten on havainnollistettu kuvassa 4. Muita P-aaltoja ovat myös kahden erilaisen materiaalin rajapinnassa syntyvät Stoneley- aallot ja räjäytystutkimuksissa havaitut C- ja H-aallot (Vuolio, 2010, 300.)



KUVA 4. R-aallon aiheuttamat muodonmuutokset väliaineessa (sms-tsunami-warning.com)

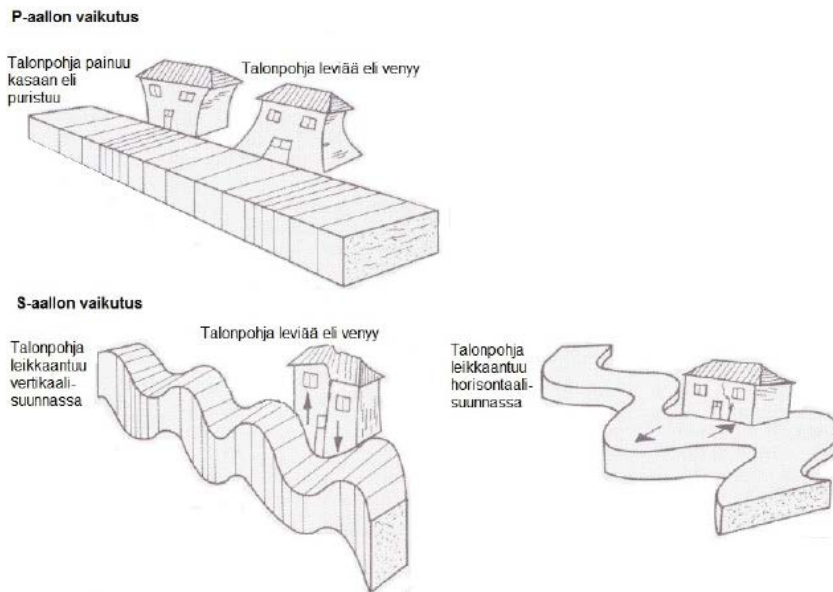
2.3 Tärinäaallon vaikutukset rakenteisiin

Usein oletetaan, että rakennuksen perustukset liikkuvat maan tai kallion kanssa samassa vaiheessa ja yhtä paljon. Tämä pitää melko hyvin paikkansa, kun tärinän taajuus on alhainen, perustukset ovat kevyitä, joustavia ja niiden jäykkyys vähäinen. Tärinä, jonka taajuus on korkea ja samalla aallonpituus lyhyt, vaimenee siirtyessään maapohjasta rakenteisiin. Vaimeneminen on yleensä sitä suurempaa, mitä raskaampi rakenne on ja mitä korkeampi on siirtyvän tärinän taajuus. Tärinä on yleensä perustuksissa korkeintaan yhtä suurta kuin maaperässä. Sen sijaan rakennuksen yläosiin kohdistuva värähtely voi vahvistua merkittävästikin (RIL 253–2010, 67–68.) Louhintatyöstä syntyvän tärinän leviäminen ympäristöön on esitetty kuvassa 5.

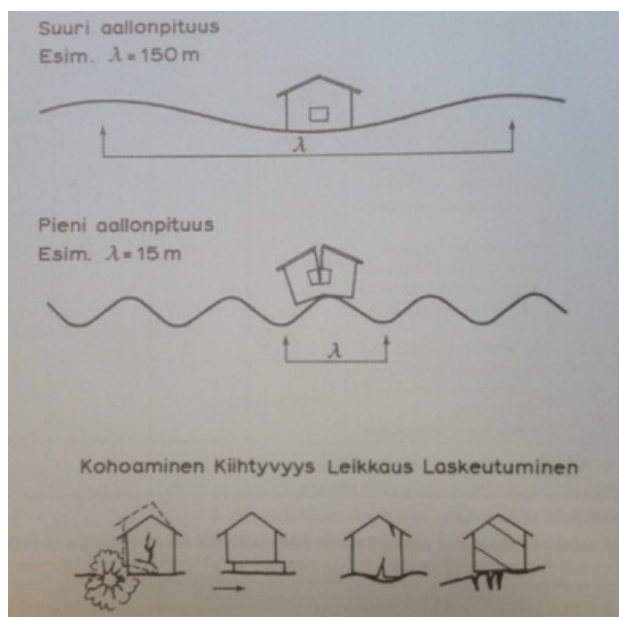


KUVA 5. Tärinän leviäminen ympäristöön (TTY, 2009,12)

Vaurioituminen rakenteissa voi johtua venymästä, repeämästä tai taipumasta. Rakenteille aiheutuvien vaurioiden kannalta merkittävimäksi tekijäksi on tutkimusten perusteella valittu värinän taajuus. Matalilla taajuuksilla aallonpituus on lyhyt, jolloin raskaiden rakenteiden vaurioitumisriski on suurimmillaan (Vuolio, 2010, 302.). Taajuuden kasvassa vaurioitumisriski pienenee huomattavasti, vaikka heilahdusnopeus pysyisi samana. Erilaiset vauriotilanteet ja aallonpituuden vaikutus vaurioihin on esitetty kuvissa 6 ja 7.



KUVA 6. Värinäkuormituksen aiheuttamat rakenteiden siirtymät (Vuolio, 2010, 301.)



KUVA 7. Aallonpituuden ja seismisen nopeuden vaikutus rakennevaurioissa ja vauriosyitä (Vuolio 2010, 303.)

Rakenteille saapuvan värinän luonteeseen vaikuttavat erilaiset geologiset olosuhteet seuraavasti:

- ”perustan dynaamiset olosuhteet ovat tärkein tekijä aaltoliikkeen etenemisnopeuden kannalta
- perustan tyyppi ja kosteus vaikuttavat eniten taajuuden suuruuteen ja aaltotyypeihin
- kallio ja maaperän topografia saattavat aiheuttaa seismisten aaltojen heijastumista
- perustan kiinteys ja lämpötila sekä vaimennusominaisuudet voivat vaikuttaa” (Vuolio, 2010, 301.)

Myös rakenteen ominaistajuus ja sen vaimentavat ominaisuudet, sekä räjäytysaallon taajuus ja amplitudi vaikuttavat siihen miten rakenne reagoi pinta-aaltoihin. Rakenteen vaimennus pienentää aallon ominaistajuutta ja se on yleensä suuri maanvastaisilla rakenteilla, koska ne voivat säteillä energiaa aaltoliikkeinä maapohjaan (TTY, 2009, 8.)

2.3.1 Oinaisvärähtely

Heilahdusamplitudin suuruus riippuu rakenteen vastaanottamasta energiasta. Vapaassa värähtelyssä jousivoiman (kx) ja massahitusvoiman (ma) suhde vaihtelee, niiden summan ollessa vaimentamattomassa vapaassa värähtelyssä 0, jolloin saadaan yhtälö (6). Kaavassa ei oteta huomioon rakenteen aiheuttamaa vaimennusta. Yleensä vaimennus on rakenteen sisäistä tai liitosten materiaalivaimennusta, joka muuttaa värähtelyn lopulta kitkan välityksellä lämmöksi (TTY, 2009, 7-9.)

$$ma = kx \tag{6}$$

m = massa (kg)

k = jousivakio (N/m)

a = kiihtyvyys (m/s^2)

x = siirtymä (m)

Sijoittamalla kiihtyvyydeksi kuvan 1 mukaan $a = x\omega^2$, saadaan $mx\omega^2 = kx$ ja sieventämällä edelleen saadaan resonanssi 1. ominaiskulmataajuus.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (7)$$

ja merkitsemällä $\omega_n = 2 \pi f_n$, saadaan ominaistaajuus:

$$f_n = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8)$$

2.3.2 Resonanssi

Rakenteita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kaikki ulkoiset voimat ja niiden aiheuttamat värähtelyt rakenteissa. Louhintatöistä syntyvät värähdellävät värähdellään rakenteiden ominaistaajuudella. Tällöin värähdellään voimistua ja aiheuttaa rakenteissa vaurioriskin. Rakenne saa värähdellään lisää värähtelyenergiaa ja se alkaa värähdellään yhä voimakkaammin. Ilmiötä, jossa värähtelijä luovuttaa toiselle lisää energiaa tämän ominaistaajuudella f_0 , kutsutaan resonanssiksi (Lehto & Luoma, 1994, 133- 134.) Resonanssikerrointa käytetään perustuksen jokaisen taajuuskaistan värähtelykomponentin ratkaisemiseen niin kutsutussa resonanssitarkastelussa.

Resonanssia voi esiintyä silloin, kun maaperän värähdellään hallitseva taajuuskomponentti osuu rakenteen ominaistaajuuden alueelle voimistaen kyseistä taajuuskomponenttia. Resonanssin seurauksena voi värähdellään jopa kuusinkertaistua (VTT, 2008; TTY, 2009, 16.) ”Louhintavärähdellään näkökulmasta louhintatyöstä syntyvä värähdellään sisältää yleensä periaatteessa riittävästi eri taajuuskomponentteja värähdellään rakenteiden ominaisvärähtelyyn. Se ei kuitenkaan ehdi aiheuttamaan varsinaista resonanssitilaa kuormituksen lähialueella, koska värähdellään on yleensä lyhytkestoista ja taajuudet ovat korkeita. Värähdellään syntyy sarjasta peräkkäisiä värähdellään, joiden värähdellään poikkeavat toisistaan. Tällöin ei synny siniaaltoista värähdellään, joka voisi sekunneissa aiheuttaa resonanssia rakenteelle ja jolla ei ole yhtä selvää resonanssitaajuutta” (Sinervo, 2012, 20.)

3 TÄRINÄMITTAUKSEN TEORIA

3.1 Rakennusten tärinäohjearvot Suomessa

Suomessa käytetään rakennusten tärinäohjearvona pystykomponentin huippuarvon heilahdusnopeutta (v), jonka suuruus riippuu rakennuksen ja räjäytyspaikan välisestä etäisyydestä ja maaperästä, jolle rakennus on perustettu. Arvot perustuvat tutkimuksiin, joita on tehty niin Suomessa, Ruotsissa kuin Norjassakin. (Vuolio, 2010, 305.) Etäisyyden kasvaessa suodattuvat taajuuden korkeat jaksoluvut pois, joten etäisyyden kasvaessa sallittu heilahdusnopeus pienenee (Vuolio & Paavola, 2008.)

Suurehkoilla, yli 70 m etäisyyksillä tilastollinen tietous on paljon vähäisempää kuin sitä pienemmillä etäisyyksillä, josta johtuen pitkien välimatkojen ohjearvojen on oltava varovaisen pieniä. Näissä pidemmän etäisyyden mittauksissa pystykomponentin huippuarvo on usein merkittävästi pienempi kuin jommankumman vaakakomponentin huippuarvo (Vuolio, 2010, 305.) Räjäytystöitä tehdessä tulee huomioida, että matalilla taajuuksilla aallonpituus on lyhyt, jolloin raskaiden rakenteiden vaurioitumisriski on suurimmillaan. Tästä johtuen tärinämittauksessa tulee huomioida myös eri taajuusalueet. Tilanne on rakenteiden kannalta vaarallisin silloin kun rakennukseen tulevan tärinän taajuus on 5 – 20 Hz, eli lähellä rakenteiden ominaistaajuutta. (Vuolio, 2010, 301- 302.)

3.2 Rakennusinsinööriliiton suositukset

Nykyisin Suomessa käytetään yleensä tärinävaikutusten arviointiin Rakennusinsinööriliiton RIL 253–2010 suosituksia. Kyseinen ohjeistus esittää tärinäasiantuntijalle A- ja AA-pätevyyksiä kokemuserusteisesti. AA-pätevyys vaaditaan vaativimpiin tärinävaikutuksen tarkkailuihin ja suurempien ohjearvojen asettamiseen. Heilahdusnopeuden ohjearvot on annettu rakenteen perustamistavan ja etäisyyden funktiona, jossa ohjearvot laskevat etäisyyden kasvaessa (RIL 253–2010, 24–26).

RIL 253–2010:n käyttö on mahdollistanut lähes vauriovapaan louhintatyön suorittamisen kaupunkialueella, mutta sitä tulisi kuitenkin täydentää alan tietämyksen lisääntyessä ja käytettävien mittauslaitteiden kehittyessä. TTY:n projektin (2009, 54) mukaan käy-

tännön kokemuksien perusteella alle 70 m etäisyyksillä riittäisi useimmiten Langeforsin 1950-luvun tarkastelu vain pystykomponentin mittaamisesta. Toisaalta Vuolio ohjeistaa räjäytyskohteen ollessa lähellä, noin 20 - 30 m etäisyydellä mittaamaan myös vaakakomponentteja, jotka voivat olla 2-3 kertaa pystykomponentin suuruisia. Yli 70 m etäisyydellä louhintapisteen tärinän luonteessa tapahtuu muutoksia. Huippuarvojen taajuuden pienenemisen lisäksi vaakakomponenttien arvot voivat olla pystykomponentteja suurempia (Vuolio, 2010, 308). RIL 253–2010 ohjeistaa käyttämään kolmikomponenttimittauksia louhintatärinöitä mitattaessa, ellei asiasta erikseen päätetä muuta (RIL 253–2010, 38.)

3.3 Ohjearvot

Louhintatärinän vaikutusalueella oleville rakenteille määritellään ohjearvot RIL 253–2010 mukaisesti. Ohjeistus määrittää louhinnasta rakennuksiin kohdistuvat tärinän ohjearvot rakenteen rakennustapakertoimen (taulukko 1) ja louhintatärinän heilahdusnopeuden ohjearvon perusarvon tulona. Perusarvot on määritetty yhtälöön empiirisistä kokeista kerätyn aineiston pohjalta ja ne esitetään taulukossa (2). Näistä saadaan kaava (9):

$$v = F_k \times v_1 \quad (9)$$

v = heilahdusnopeuden ohjearvo (mm/s)

F_k = rakennustapakerroin

v_1 = louhintatärinän heilahdusnopeuden ohjearvon perusarvo (mm/s)

TAULUKKO 1. Rakennustapakertoimet tärinän ohjearvojen määrittämiseksi perustuksissa (RIL 253–2010, 24.)

Rakenneluokka (hyväkuntoinen rakenne)	Rakennustapakerroin $F_{k,1}$ (kelpoisuus A-luokka)	Rakennustapakerroin $F_{k,1}$ (kelpoisuus AA-luokka)
1. Raskaat teräsbetoni- ja teräsrakenteet, kuten sillat ja laiturit	1,75	2
2. Teräsbetoniset, teräksiset ja puurakenteiset teollisuus- ja varastorakennukset, ruiskubetonoidut kalliotilat (ks. myös kohta 3.9), yleensä staattisesti määrätty rakenteet, joissa ei asuta tai työskennellä	1,25	1,5
3. Pilariperustuksille rakennetut elementtirakenteiset teräsbetonirakenteet, teräs- ja puurakenteiset toimisto- ja asuinrakennukset, muut puu- ja teräsrakennukset, johdot ja maakaapelit (ks. myös kohta 3.9)	1	1,2
4. Massiiviseinäiset tiili-, kevytsoraharkko- ja teräsbetonirunkoiset teollisuus-, toimisto-, ja asuinrakennukset, lasiseinäiset teräsrunkoiset sekä tiiliverhotut puurunkoiset rakennukset, ruiskubetonioimattomat kalliotilat (ks. myös kohta 3.9)	0,85	1
5. Rakennukset, joissa on kevytbetoni- tai kalkkiehkekatilirakenteita tai muuta vaurioherkkää materiaalia, tärinä- ja värähtelyherkät vanhat rakennukset, kuten kirkot tai korkeita holveja käsittävät rakenteet	0,55	0,65

TAULUKKO 2. Louhintätärinän heilahdusnopeuden perusarvo v_l (mm/s) etäisyyden suhteen erilaisille maa- ja kalliopohjille perustetuille rakennuksille (RIL 253–2010, 25.)

1	2	3	4	5
Etäisyys (m)	Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m ²	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka	Tiivis hiekka, sora, moreeni rikkonainen tai löyhä kallio	Kiinteä kallio
1	9	18	35	140
5	9	18	35	85
10	9	18	35	70
20	8	15	28	55
30	7	14	25	45
50	6	12	21	38
100	5	10	17	28
200	4	9	14	22
500	3	7	11	15
1000	3	6	9	12
2000	3	5	7	9

3.4 Lainsäädäntö ulkomailla

3.4.1 Ruotsalainen standardi

Kotimaisen ohjeistuksemme pohjana on käytetty ruotsalaista SS 460 4866 – standardia. Siinä rakenteiden värinäkestävyyden mittana on heilahdusnopeuden pystykomponentin arvo ja mitattava taajuusalue on 5-300 Hz. Standardin raja-arvo määritellään rakennuksen värinäkestävyyden, rakennusmateriaalin, perustamistavan ja räjäytyksen etäisyyden tulona. Rakennukset jaetaan viiteen ja rakennusmateriaalit neljään kestävyysluokkaan. Standardin raja-arvot ovat heilahdusnopeuden etäisyyssidonnaisia arvoja ja ne perustuvat kenttäkokeilla koottuihin vaurioutilastoihin. Suomesta poiketen Ruotsissa värinämitaukset tehdään pääsääntöisesti rakennusten ulkopuolelta rakenteesta (Vuolio 2010, 306; SS 460 4866.)

3.4.2 Saksalainen standardi

Saksassa on käytössä DIN 4150-3 – normi. Siinä ohjearvot ovat heilahdusnopeuden ja sen huippuarvon taajuussidonnaisia ohjearvoja. Taajuusalue rajoittuu ohjearvossa yläpäästään 100 Hz:ään, jonka jälkeen sovelletaan 100 Hz raja-arvoja. Käytettävän mittauslaitteiston tulee normin mukaan mitata taajuuksia välillä 1-315 Hz. Lisäksi standardilla määritetyt heilahdusnopeuden ohjearvot koskevat jokaista värinän komponenttia. Normin mukaan mittaukset tulee tehdä kolmiakσιαaliantureilla ja ne tulisi kiinnittää joko perustukseen tai mahdollisimman lähelle sitä kantaviin rakenteisiin. Anturit saavat olla maksimissaan 0,5 m maanpintaa korkeammalla. Saksalaisen DIN 4150-3 normin sallimat arvot on esitetty taulukossa 3. (DIN 4150-3, 3-6)

TAULUKKO 3. DIN 4150-3 – normin sallimat arvot.

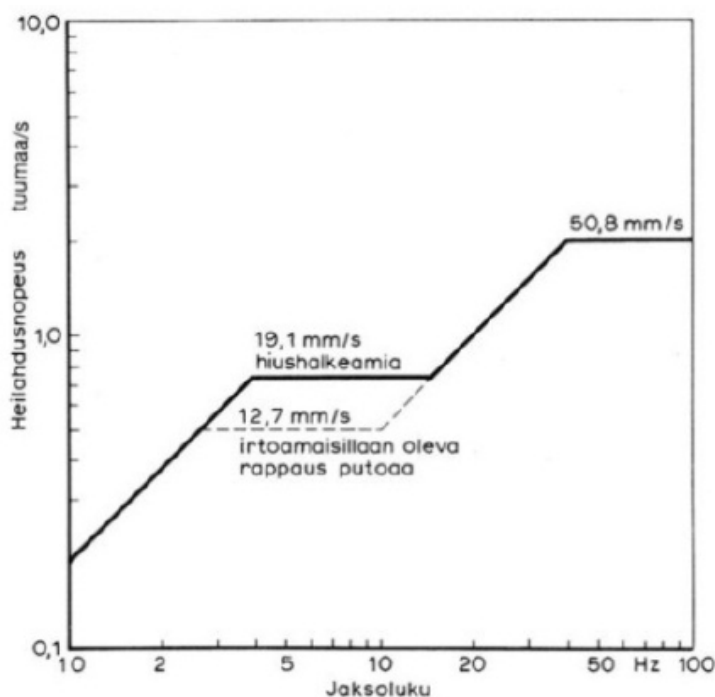
Kohde	Rakennustapa	Sallittu heilahdusnopeuden arvo (suurin komponentti) v_1 , mm/s			
		Perusta			Ylin kerros
		Jaksoluku			Kaikki jaksoluvut
		< 10 Hz	10–50 Hz	50–100*) Hz	
1	Teollisuusrakennuksen ja niitä rakenteellisesti vastaavat rakennukset.	20	20–40	40–50	40
2	Asuinrakennukset ja niitä rakenteellisesti tai käyttötarkoituksellisesti vastaavat rakennukset.	5	5–15	15–20	15
3	Rakennukset, jotka eivät tärinäkestävyydeltään vastaa kohteiden 1 ja 2 rakennuksia. Suojeltavat rakennukset.	3	3–8	8–10	8

*) Yli 100 Hz jaksoluvulla sovelletaan 100 Hz raja-arvoja.

3.4.3 Yhdysvaltalainen standardi

Yhdysvalloissa käytetään OSM-standardia ja sen pohjana toiminutta USBM RI 8507 – ohjeistusta. Julkaisuissa raja-arvot ovat heilahdusnopeuden ja sen huippuarvon taajuussidonnaisia ohjearvoja. Värinämittaus tehdään ohjeistuksen mukaan maapiikkiin kiinnitetyllä anturiyksiköllä ulkoa, perustusten läheisyydestä. Anturin tulee olla kolmiakσιαallinen ja sen suurimman komponentin arvo on määräävä. Lisäksi anturien tulee mitata taajuusaluetta 2-250 Hz (<http://vibrationdamage.com/>.)

USBM RI 8507 – ohjeistuksessa raja-arvot määritellään heilahdusnopeuden ja jaksoluvun funktiona. Kuvassa 8 esitetään US Bureau of Minesin raja-arvosuositus RI 8705. Suosituksessa alle 40 Hz taajuudet nähdään rakenteille vaarallisina, mikäli kriteerinä pidetään heilahdusnopeuden huippuarvoa. Vastaavasti yli 40 Hz taajuuksilla kaikille rakennuksille sopiva raja-arvo on määritelty tasoon 50 mm/s (<http://vibrationdamage.com>.)



KUVA 8. Yhdysvaltalaiset raja-arvot louhintatöille

3.5 Suomessa käytetyt mittausmenetelmät

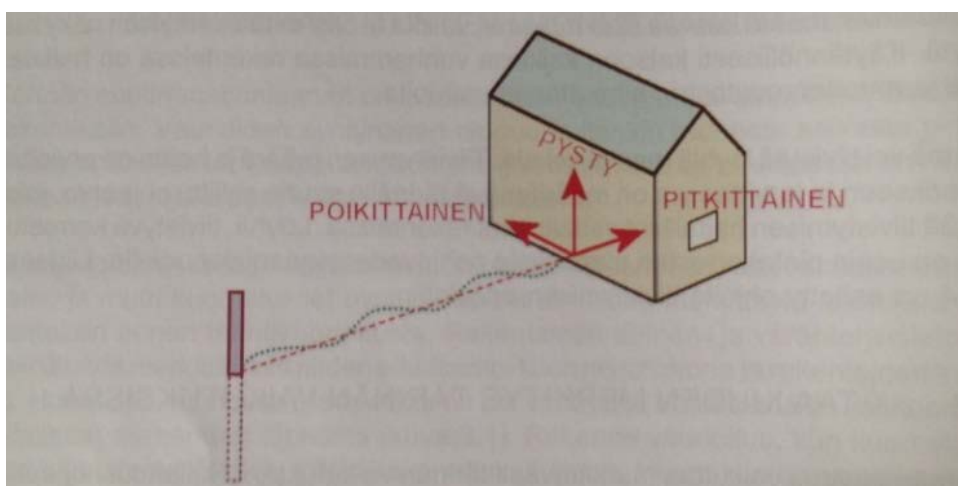
3.5.1 Mittarien säädöt

RIL 253–2010 ei aseta tarkkoja vaatimuksia tärinän mittaamiselle, vaan ainoastaan antaa mittauksen tärinäasiantuntijan omalle vastuulle. Ohjeen mukaan: ”Tärinäasentaja huolehtii siitä, että tärinää mitataan riittävästi ja mittaustapa on tarkoituksenmukainen.” (RIL 253–2010, 38). Kuitenkin, mittauksia tulee tehdä taajuusalueella 5-300 Hz sillä tavalla, että saadut arvot ovat vertailukelpoisia ohjeen avulla määritettyihin tärinän oh-

jearvoihin. Mittauksissa tulee tehdä kolmikomponenttimittauksia, ellei muuta päätetä (RIL 253–2010.)

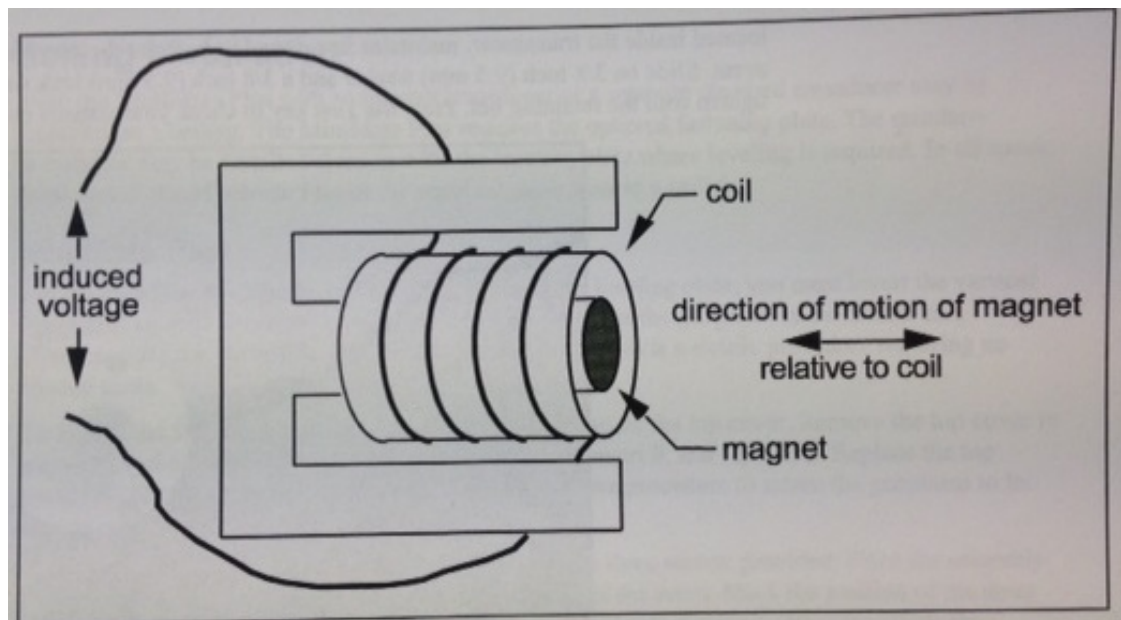
3.5.2 Anturien mittausteoria

Tärinämittauksia tehdään useilla eri mittauslaitteistoilla. Käytössä olevien kolmikomponenttimittarien toimintaperiaate on kuitenkin laitteistosta riippumatta sama. Kolmikomponenttimittarit mittaavat tärinää kuvan 9 mukaisesti kolmiulotteisesti. Mittauskomponentit on nimetty pystykomponentiksi (V), vaakakomponentiksi (L) ja pituuskomponentiksi (L). (Sigicom manual; Instantel.)



KUVA 9. Kolmiakselialisen anturin mittausperiaate (RIL 253–2010, 22)

Mittaus tapahtuu anturiyksikössä käämien väliin asetettujen kolmen elementin liikkeenä louhintatärinän vaikutuksesta. Pysty- ja vaakakomponenttiset anturit ovat rakenteeltaan erilaisia. Vaaka- ja pituuskomponentin elementit liikkuvat käämiensä sisällä jousien rajoittamalla liikeradalla. Pystykomponentin elementti sitä vastoin sisältää vain yhden jousen, joka oikein asennetussa anturiyksikössä hidastaa pystykomponentin liikettä alaspäin maan vetovoimaa vastaan. Vaakakomponentin liike mittaustilanteessa on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Kolmiaksaalisen anturin vaakakomponentin toiminta (Instantel, 5-6.)

Nykyaikaisilla mittareilla pystytään mittaamaan heilahdusnopeuden lisäksi myös kiihtyvyyden huippuarvoa (a), siirtymää (u) ja taajuutta (f). Siirtymän yksikkönä käytetään yleensä joko arvoa μm tai mm ($\mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$). (Vuolio, 1991, 173). Näiden yksiköiden tarkastelu on olennaista esimerkiksi silloin, kun rakenteelle on määritelty erillisen selvityksen mukaan ohjearvot DIN 4150-3 – normin mukaisesti. Lisäksi suureita analysoidaan myös vauriotapausten selvityksen yhteydessä.

4 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT JA KÄYTETTU KALUSTO

4.1 Lähtökohdat

Tärinämittaukset toimivat louhintatyön valvonnan lähtökohtana. Vaikutusalueella oleville rakenteille määritetään työnaikainen ja sitä ohjaavat heilahdusnopeuden ohjearvot, jotka tehdään yleensä RIL 253–2010 mukaisesti. Määritetyt ohjearvot toimivat kuitenkin vain jos mittaus ja mittarin asennus tehdään kyseisen – ohjeen ja käytettävän mittauslaitteiston valmistajan ohjeiden mukaisesti. ”Väärin tai puutteellisesti asennettu tärinämittari ei anna ohjearvoa vastaavaa lukuarvoa vaan mittaustuloksen, joka voi pahimmillaan johtaa työssä väärin johtopäätöksiin.” (Tuovinen, 2014.)

Suomessa vakiintuneen käytännön mukaan tärinämittarin asennuksen tekee yleensä tärinämittaukseen erikoistunut konsultti, joka on saanut perehdytyksen aiheeseen. Asennustyössä on mittauspaikan lisäksi huomioitava ilkivallan, varkauden, vesivahingon sekä työmaan itsensä aiheuttamat riskit käytettävälle kalustolle, sillä sen rahallinen arvo on useimmiten hyvin korkea. Myös työmaan kestosta johtuen mittarit pyritään pääsääntöisesti kiinnittämään verkkovirtaan. Lisäksi mittariasennukselle suunnitelluissa tiloissa saattaa olla laitteita, varusteita tai muita esineitä, jotka estävät mittarin kiinnittämisen haluttuun paikkaan. Mittariasennukseen liittyy siis monia seikkoja, jotka tulee ottaa asennuksessa huomioon. ”Toisinaan asennukseen liittyvät vaatimukset voivat olla ristiriitaisia, mikä johtaa kompromisseihin. Kompromissien kanssa tulisi kuitenkin muistaa aina se lähtökohta, mitä mitataan ja miksi?” (Tuovinen, 2014.)

Kokemuseräisesti mittariasennukset eivät ole aina täyttäneet kaikkia siihen liittyviä vaatimuksia. Joillakin louhintatyömailla niiden teko on jäänyt jonkin muun kuin mittaukseen perehtyneen konsultin hoidettavaksi. Vaikka mittariasennuksesta on saatavilla ohjeet, voi asennus epäonnistua monella tapaa. Lisäksi asentajan toimintaa voi ohjata ulkopuolinen taho vaatimuksilla, joka ei mahdollista oikeaa asennusta. Taho voi olla esimerkiksi mittarin asennuspaikan kiinteistön omistaja. Tässä lopputyössä on pyritty tutkimaan osaa tyypillisistä asennusvirheistä simuloimalla kenttätöissä havaittuja yleisiä tulokseen vaikuttavia asennustapavirheitä.

4.1.1 Asennusvirhetyypit

Asennusvirheet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: asennuspaikasta johtuvat ja anturikiinnityksestä johtuvat asennusvirheet. Anturikiinnitykseen liittyviä virheitä on useita. Tutkimukseen niistä valikoitui simuloitaviksi anturin asentaminen vinoon, löysästi, väärinpäin ja epätasaiselle pinnalle. Lisäksi yhden anturin kiinnityskappale rikottiin kiristämällä kiinnityspulttia liiallisesti. Valitut virhetyypit ovat tavallisimpia työmailla havaittuja.

Asennuspaikasta johtuvat asennusvirheet syntyvät yleensä olosuhdetekijöistä. Esimerkiksi halutun kiinnityspaikan kiinteistön omistaja voi rajoittaa kiinnitysmahdollisuuksia tai pääsy edustavan mittauspaikan luo on estetty. Tehtyjen havaintojen pohjalta työssä tutkittiin anturikiinnityksen lisäksi anturien sijoittelun vaikutusta mittaustuloksiin. Virhetyypeiksi valittiin mittauksen tekeminen ei-kantavasta rakenteesta, raskaasti raudoituksesta rakenteesta sekä ylempää mutta samasta kerrostaosta kuin maanpinta. Lisäksi yhdellä anturilla haettiin vähäisen etäisyyden vaikutusta kiinnittäen se kuten mittauksien referenssipiste. Kaikki mainitut asennusvirhetyypit ovat mahdollisia ja havainnoituja työmailla.

4.1.2 Kohdetiedot

Tämän opinnäytetyön tutkimus tehtiin Meilahteen valmistuvan Uuden Lastensairaalan työmaalla. Tutkimukseen valittiin louhintatyömaata lähin vanhan sairaalan rakennussii-
pi ja sen ensimmäisen kerroksen työmaanpuoleisin käytävä. Rakennus oli kallionvaraisesti perustettu betonianturalle. Kantavina rakenteina olivat betoninen sokkeli sekä tiili- ja teräsbetonirunko, jotka olivat vahvistettu teräsbetonipilareilla. Mittauspisteiden ja räjäytysten välinen etäisyys vaihteli välillä 7 -51m (Liite 1).

4.2 Käytetty kalusto ja seuranta

Tutkimuksen välineinä olivat Oy Finnrock Ab:n aktiivikäytössä olevat Sigicom INFRA Monitoring System – tuoteperheen anturit ja mittarit. Kolmiaksiaalisia V12- anturiyksiköitä oli kymmenen ja yksiaksiaalisia V10-antureita seitsemän kappaletta. Käytetty ka-

lusto täyttää RIL 253–2010 määrittämät ja sosiaali- ja terveysministeriön asettamat vaatimukset tärinämittauskalustolle.

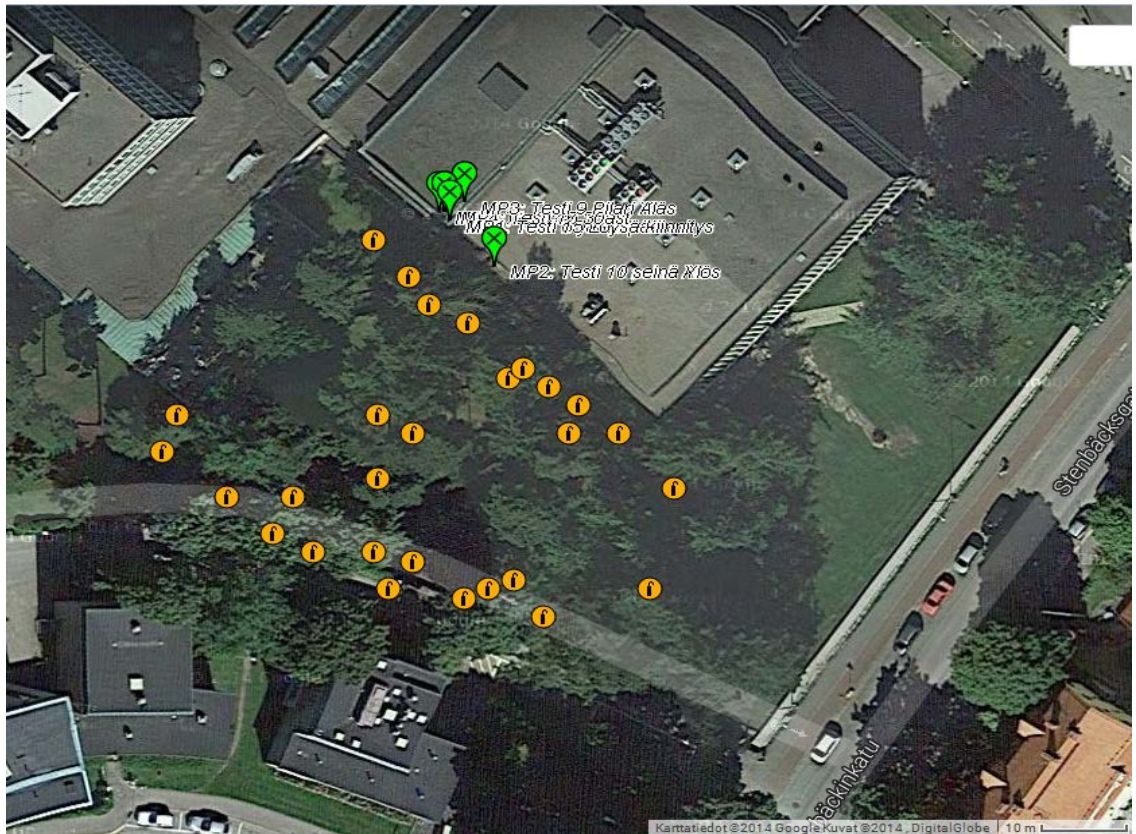
4.2.1 Anturit

Louhintatärinän vaikutuksien mittaamiseen rakenteista käytetään yleensä kolmiaksiaalisia anturiyksiköitä. Näiden lisäksi tutkimuksessa käytettiin yksiaksiaalisia antureita asennuspaikan merkityksen mittaamiseksi. Yksiaksiaalisia antureita ei tulisi käyttää sovellettaessa saksalaista normia tai yhdysvaltalaisia standardeja, sillä niissä raja-arvot on määritelty kolmiaksiaalisen anturin suurimman komponentin mukaan. Joissakin tilanteissa vaakakomponentin mittaamat heilahdusnopeudet voivat olla huomattavasti pystykomponentteja suurempia (Vuolio, 2010, 305.). Tutkimuksen kannalta tämä ei aiheuttanut ongelmia, sillä mittaukset tehtiin kotimaisella standardilla ja analysointi kohdennettiin vain heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoihin.

Tutkimuksen onnistumisen perusedellytyksenä oli niin sanotusti oikein asennettu anturi, josta käytettiin nimitystä referenssimittauspiste (T1). Muista antureista saatuja tuloksia verrattiin pääsääntöisesti tämän anturin tuloksiin. Kaikki käytetyt anturit olivat kalibroituja ja toimeksiantajayrityksen aktiivikäytössä.

4.2.2 Seuranta

Tuloksia seurattiin Nitro Consult AB:n ylläpitämästä NCVIB- seurantapalvelusta. Palvelun avulla pystytään seuraamaan siihen lisättyjen tärinäanturiyksiköiden mittaamia tuloksia lähes reaaliajassa ja jakamaan työmaan kannalta olennainen tieto urakoitsijoille sekä ympäristön kolmansille osapuolille. Tutkimusta varten järjestelmään perustettiin erillinen Tutkimus-projekti, johon seurattavat mittausyksiköt liitettiin. Työmaan antamien räjäytystietojen avulla saatiin etäisyydet eri mittauspisteille sekä räjäytyskartta, joka näkyy kuvassa 11.



KUVA 11. Räjäytysten sijainti mittauspisteisiin nähden (www.ncvib.com)

5 MITTARIASENNUKSET

Tutkimuksessa käytettiin 17:ää anturiyksikköä. Ne kiinnitettiin poraamalla reiät seinään, asettamalla M10- messinkilyöntitulpat porattuihin reikiin ja kiristämällä anturin läpi menevät kiinnityspultit lyöntitulppiin. Osa kiinnityksistä tehtiin virheellisiksi simuloimaan erilaisia asennusvirhetapoja. Toiset kiinnitettiin tutkimuskohteessa ympäri käytävää asennuspaikan merkityksen mittaamiseksi. Lähes kaikki anturit sijaitsivat heti maanpinnan tason yläpuolella olevan käytävän työmaan puoleisella seinällä.

Mittariasennukset tehtiin pääosin 2.-3.10.2014. Tutkimusta laajennettiin 8.10. asentamalla kaksi anturia vinoon eri kulmiin. Mittauspaikaksi valittiin loushintatyömaan viereinen rakennussiipi ja sen yhdyskäytävä. Yhdyskäytävä on sen sisäänkäynniltä keittiökeskuksen ovelle asti tiiliseinää, jonka jälkeen seinälinja jatkuu liikuntasaumoin erotetusti kantavana teräsbetoniseinänä. Kiinnityspinnat ja työmaan läheisyys rakenteisiin mahdollistivat monipuolisen kenttäkokeiden teon.

Tutkimuksen kokeissa asennettuja antureita verrattiin niin kutsuttuun oikein asennettuun anturiin, referenssimittauspisteeseen. Sen kiinnityspaikaksi valittiin yhdyskäytävällä telehuoneen vieressä olevan teräsbetoniseinän ja tiiliseinän reuna-alue. Anturi kiinnitettiin liikuntasauvan välittömään läheisyyteen. Paikka oli ideaali, sillä rakenne oli kantava ja anturin kiinnitys saatiin tehtyä jäykäksi lähelle perustamistasoa. Tällöin siitä saadut arvot ovat vertailukelpoisia tehdessä mittariasennus RIL 253–2010 mukaisesti. (RIL 253–2010, 79). Referenssimittauspiste kiinnitettiin asennuksessa ensimmäisenä ja muut sen välittömään läheisyyteen etäisyysvaikutuksen minimoimiseksi. Tutkimukseen kuului kuitenkin myös kauemmaksi tiiliseinään ja käytävän toiselle puolen teräsbetonipilariin kiinnitetyt V12-anturiyksiköt, joista kerrotaan lisää alakappaleissa. Mittareiden välisten etäisyyksien havainnollistamiseksi tehtiin piirros ja otettiin kuvia, jotka löytyvät kuvissa 12–14.

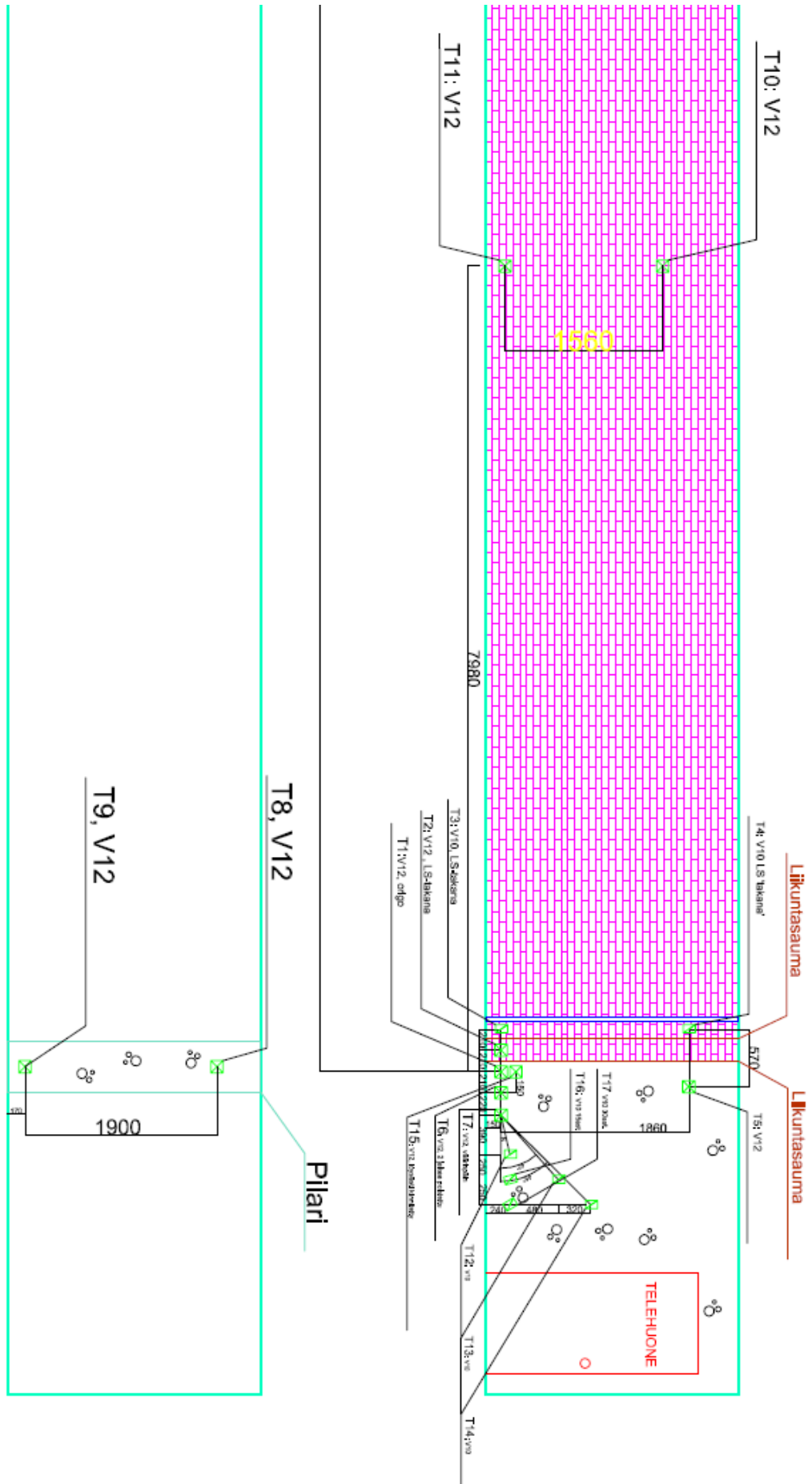
Asennustapavirheiden simulointia varten asennetut anturi kiinnitettiin minimaalisin etäisyyksin referenssimittauspisteeseen nähden. Mittarikytkennät tehtiin valmistajan hyväksymillä haarakytkennöillä ja kaapeleilla. Anturiyksiköt nimettiin niiden asennusjärjestyksessä ja jaoteltiin taulukoiden 4-5 mukaisesti. Anturien korkeasta lukumäärästä johtuen kokeessa käytettiin neljää INFRA Mini- mittaria.

TAULUKKO 4. Asennuspaikan merkityksen anturit.

LISTAUS ASENNUSPAIKAN MERKITYKSEN ANTUREISTA JA NIIDEN LYHENTEISTÄ	
LYHENNE	SELITE
T1	Referenssimittauspiste, oikein asennettu V12-anturi
T2	V12, liikuntasauaman toisella puolen
T3	V10, toisen liikuntasauaman toisella puolen
T4	V10, T3:n yläpuolella ($\Delta h=185$ cm)
T5	V12, T1:n yläpuolella ($\Delta h=185$ cm)
T8	V12, pilarin yläpää
T9	V12, pilarin alapää
T10	V12, seinän yläpää
T11	V12, seinän alapää
T12	V10, T1:n tasolla kohti Telehuonetta ($\Delta s=85$ cm)[REF#2]
T14	V10, T12:n vieressä

TAULUKKO 5. Kiinnitysvirheelliset anturiyksiköt.

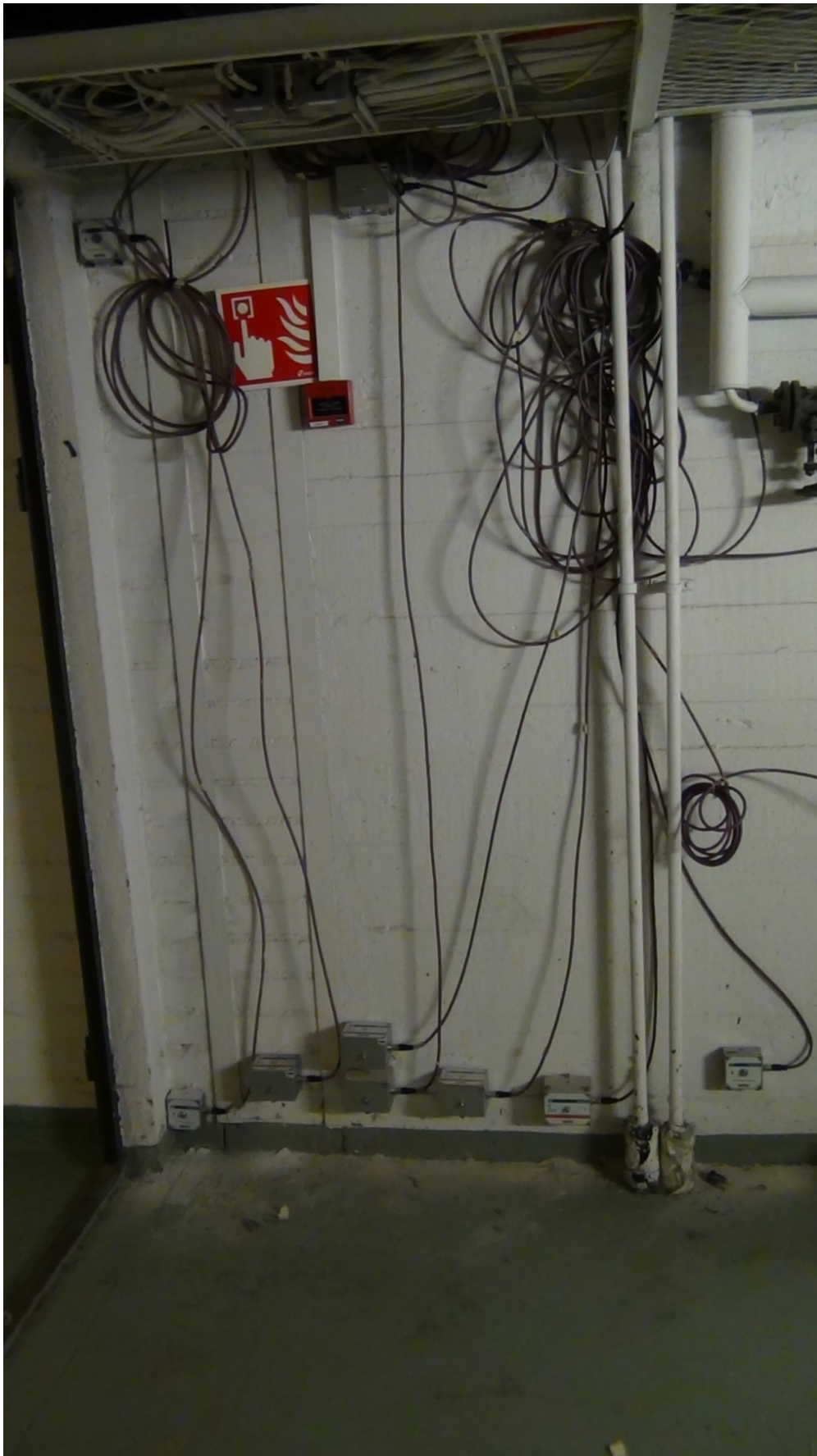
LISTAUS ASENNUSVIRHEELLISISTÄ ANTUREISTA JA NIIDEN LYHENTEISTÄ	
LYHENNE	SELITE
T6	V12, josta poistettiin kaksi anturin seinäjalkaa
T7	V12, asennettiin väärinpäin
T13	V10, T12:n vieressä ($\Delta h=48$ cm, $\Delta s=25$ cm)
T15	V12, puutteellisesti kiristetty T1 yläpuolella ($\Delta h=15$ cm)
T16	V12, 15° vaakakulmaan asennettu
T17	V12, 30° vaakakulmaan asennettu



KUVA 12. Tärinämittarien asennuskaavio etäisyystietoineen.



KUVA 13. Kuvaa keskuskeittiön ovelta kohti rakennussiiven sivu-uloskäyntiä



KUVA 14. Yleiskuvaa mittariasennuksista telehuoneen oven vierestä 3.10.2014. Referenssimittauspiste on alempi lähes päällekkäin asennetuista anturiyksiköistä.

5.1 Virheellisesti kiinnitetyt anturit

5.1.1 Epätasaisen kontaktipinnan ja pultin kiristyksen merkityksen anturit

Täriämittarin asentaja voi joutua kiinnittämään anturin epätasaiselle kiinnityspinnalle. Näin voi käydä esimerkiksi tunnelityömailla mitattaessa ruiskubetonoidun tunnelikäytävän seinämistä tai mitattaessa täriä putkesta. Tällöin yksi tai useampi täriämittarin anturajalka voi jäädä ilman kontaktia kiinnityspintaan. Sigicom ei omassa anturien tuotemanuaalissaan (liite 3) käsittele aihetta, mutta puutteen on huomattu aiheuttavan muutoksia mittaustuloksissa. Puutteellisen kosketuspinnan simuloimiseksi yksi kolmiaksiaalinen anturi (T6) kiinnitettiin ilman kahta seinäjalkaa 0,22 m etäisyydelle referenssimittauspisteestä samaan korkeustasoon. Kuvassa 15 näkyvät aluslevyt asetettiin yhden anturijalan tilalle riittävän kiinnityskireyden saavuttamiseksi.

On myös havaittu tapauksia, joissa anturiyksikön kiinnitys on ollut liian löysä tai kiinnityspulttia on kammettu liikaa johtaen lyöntitulpan rikkoutumiseen. Näiden vaikutusten mittaamiseen valittiin yksi kolmiaksiaalinen anturi (T15), jonka kiinnitys jätettiin löysäksi sekä yksi V10 (T13, kuva 16), jonka messinkitulppa murrettiin kiristämällä kiinnityspulttia liikaa. Löysäkiinnitteinen anturi oli referenssimittauspisteen kanssa samalla korkeudella ja niiden vaakasuora etäisyys toisistaan oli 0,15 m. Anturi, jonka kiinnitystulppa murrettiin, sijaitsi 1,07 m referenssimittauspisteeltä kohti telehuoneen ovea ja se oli 0,58 m korkeampana.



KUVA 15. Kolmiakselialinen V12-anturiyksikkö josta poistettiin kaksi seinäjalkaa (T6.)



KUVA 16. Ylikiristetty anturipultti on murtanut messinkitulpan (T13.)

5.1.2 Väärinpäin asennettu anturi

Tärinämittarin asennuksessa tulee huomioida anturiyksikön oikea asento kiinnityspintaan nähden. Laitevalmistajat määrittävät mittareilleen oikeat asennusasennot. Esimerkiksi Sigicom on merkinnyt antureihinsa ylöspäin tulevan särmän tekstillä ”UP” (kuva 13 & 16). Anturiyksikön kääntäminen muuhun asentoon kuin valmistajan hyväksymä johtaa sen mittaustuloksen vääristymiseen.

Sigicom V12-anturiyksikön asentamista väärinpäin asennuspintaan nähden tutkittiin yhdellä mittauspisteellä (T7, kuva 17). Kun anturi on asennettu näin, sen pystykomponentin V-elementti ja pituuskomponenttinen T-elementti eivät pääse liikkumaan vapaasti seinän suuntaan tai pystysuuntaan. Tällöin V-elementti mittaa käytännössä vaakakomponentin T arvoja ja T-elementti pystykomponentin V arvoja. Tämä asennustapavirhe näkyy esimerkkitapauksessa (liite 2) siten, että pysty V-elementin ja pituuselementin T mittaamat arvot ovat olemattomat verrattaessa niitä vaakakomponentin L arvoihin. Tällaisessa tapauksessa L-elementti toimii normaalisti, sillä se pysyy samansuuntaisena anturin väärästä asennosta huolimatta. Kuitenkin tärinätason noustessa noin yli 5 mm/s tasolle, alkavat vaakakomponentin V-elementti ja pituuskomponentin T-elementti aktivoitua ja mitata lähes yhtä suuria arvoja kuin vaakakomponenttinen L-elementti. ”Niiden mittaustulokset ovat kuitenkin harhaanjohtavia” (Tuovinen, 2014.)



KUVA 17. Väärinpäin kiinnitetty anturiyksikkö (T7). Kuvassa näkyy ”UP”-merkki, joka ilmoittaa särmän oikean asennon. Kuvassa merkki on vaakasuorassa.

5.1.3 Vinokulmaan asennetut anturit

Tärinämittariasennuksessa tulee huomioida anturien asennuskulma kiinnityspintaan nähden. Laitevalmistaja määrittävät että anturit kiinnitetään vaakasuoraan. Antureille on myös määritelty yleensä suurin sallittu poikkeama, eli toleranssi. Toleranssin yläraja ilmaisee asennuskulman maksimaalisen suuruuden. Kulman ollessa tätä arvoa pienempi, on mittaustulokseen aiheutuva virhe hyväksyttävä. Kuitenkin, kun toleranssiraja ylitetään, alkavat anturin sisäiset komponentit mitata toistensa vektorisuureita ristiin. Lisäksi kuvan 10 mukainen anturielementin liike mittauskomponentissa muuttuu: liikekitka käämin sisällä kasvaa, jolloin mitatut arvot muuttuvat verrattuna riittävällä tarkkuudella asennettuun anturiin.

Sigicom:n tuotemanuaalin (liite 3) mukaan antureita ei tule asentaa yli 5° kulmaan kiinnityspintaan nähden. Oy Finnrock Ab:n aktiivikäytössä on myös Instanteltärinämittareita. Niiden valmistaja ilmoittaa 4° maksimikulman asennuksiin (Instantel). Tutkimuksessa vinoon asentamisen vaikutuksen mittaamiseksi käytettiin kahta Sigicom V10-anturia. Anturit asennettiin 15° (T16) ja 30° (T17) vaakakulmaan. ja niiden asennuskuva on esitetty kuvassa 18.



KUVA 18. Vasemmalta oikealle luetellen: sekundäärinen referenssimittauspiste (T12), 15 ° ja 30 ° kulmaan asennetut anturit (T16 & T17).

5.2 Asennuspaikan merkityksen anturit

Anturikiinnityksen merkityksen lisäksi tutkimuksessa pyrittiin mittaamaan anturien sijoittelun vaikutusta mittaustuloksiin. Kokemusperäisen tiedon pohjalta virhetyypeiksi valikoitui mittauksen tekeminen ei-kantavasta rakenteesta, raskaasti raudoitettusta rakenteesta sekä ylempää, mutta samasta kerrostaosta kuin maanpinta.

RIL 253–2010 määrittelee tärinämittarin oikean sijoitustavan seuraavasti:

- ”alhaalta, mahdollisimman läheltä perustamistasoa
- jäykästä rakenteesta (esim. kantava ulkoseinä, pilari)” (RIL 253–2010, 79).

Ohjeistuksesta huolimatta työmailla on nähty mittareita asennettuna kevyissä väliseinä-rakenteissa sekä huomattavan korkealla perustamistasoon nähden. Tutkimuksessa simuloitiin molempia tilanteita. Kaikki tarkoitukseen valitut anturit kiinnitettiin välttämättä yleisiä asennusvirheitä ja niistä otettiin asennuskuvat.

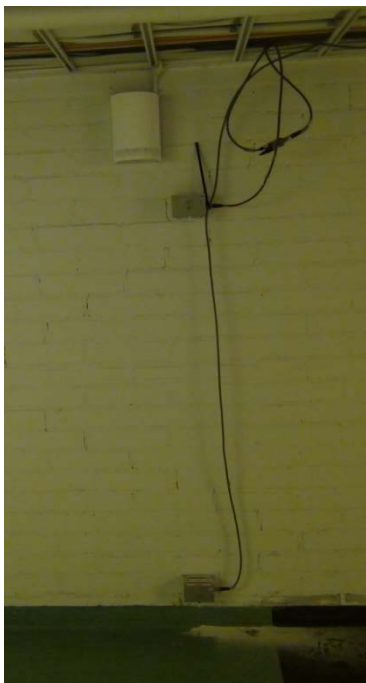
5.2.1 Kevyeen rakenteen anturit

Louhintatöiden valvonnassa keskitytään louhintatyön vaikutuspiirissä olevien rakennusten ja rakenteiden muodonmuutosten ja laadun havainnointiin. Havainnoitava alue määritetään joko ympäristöselvityksen tai riskianalyysin pohjalta ja siinä otetaan huomioon louhinnasta aiheutuvat rasitteet ja riskit sekä rakenteille että ihmisille.

Tärinämittauksen näkökulmasta keskeisessä roolissa ovat kantavat rakenteet. Näistä mitatut tulokset ovat oikein asennettuina vertailukelpoisia eri ohjeistuksien määrittämiin louhintatärinän ohjearvoihin. Sen sijaan kevyet rakenteet ovat tärinävalvonnan kannalta toissijaisia. Niistä mitatuille arvoille ei ole olemassa ohjeistuksia eikä vertailukohtaa. Ihanneolosuhteissa mittarit saadaan kiinnitettyä rakenteessa edustavaan, kantavaan rakenteeseen, mutta eri tekijät voivat pakottaa tekemään mittauksen kevyistä rakenteista. Kuitenkin, rakenteeltaan kevyestä rakenneosasta voidaan tehdä tärinämittaus, mikäli se jakaa kuormia ylemmiltä kerroksilta perustuksille.

Kevyet rakenteet ovat jäykistämättömiä rakenteita. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ne eivät jaa niihin kohdistuvia kuormia eteenpäin voiman vaikutussuuntaan nähden

kolmiulotteisesti. Ne siis kantavat vain oman kuormansa. Louhintatärinän vaikuttaessa kevyeen rakenteeseen, se pääsee kokemusten mukaan liikkumaan huomattavasti kantavaa rakennetta enemmän. Tästä johtuen siitä mitatut siirtymän ja heilahdusnopeuden arvot ovat suurempia. Kevyeen rakenteeseen kiinnitetyn anturin simuloimiseen käytettiin viittä anturiyksikköä (T2-T4, T10-T11). Näiden etäisyydet ja sijainnit toisiinsa nähden on havainnollistettu kuvissa 12–14 sekä kuvassa 19.



KUVA 19. Tiiliseinään asennetut kolmiakseliset anturiyksiköt.

5.2.2 Pilariin kiinnitetyt anturit

Mittareita on asennettu myös teräsbetonipilareihin. Tällöin ongelmalliseksi muodostuu pilareiden sisältämät raudoitusteräket. Teräsbetonipilarit ovat niin kutsuttuja raskaasti raudoitettuja rakenteita, joissa teräksen prosentuaalinen osuus on suuri ja raudoitusten etäisyys toisistaan on pieni. ”Pilarista mittaaminen ei ole niin kutsuttu asennusvirhe, mutta mittauspaiikkana se voi antaa poikkeavia mittaustuloksia (korkeampi taajuus, suurempi siirtymä), mikä tulee ottaa huomioon mittaustuloksien tulkinnassa” (Tuovinen, 2014).

Louhinnasta maapohjan kautta pilarille saapuvan tärinän taajuus saattaa olla samansuuruisen kuin raudoituksen ominaisvärähtely. Tämän tapahtuessa rakenne saa tärinästä

lisää värähtelyenergiaa ja se alkaa värähdellä voimakkaammin. Tätä ilmiötä kutsutaan resonanssiksi ja se nostaa mitattavia taajuuksia ja heilahdusnopeuksia. Vaikutuksen mittaamiseksi tutkimuksessa asennettiin referenssimittauspisteen kohdalle toiselle puolelle käytävää teräsbetonipilariin kaksi V12-anturiyksikköä. Ne kiinnitettiin eri korkeus-asemiin, joista alempi (T9) oli 17 cm korkeudella lattiapinnasta ja ylempi (T8) 185 cm korkeammalla. Näistä saatuja tuloksia verrattiin referenssimittauspisteeseen. Pilariin asennetut anturit esitetään kuvassa 20.



KUVA 20. Pilariin asennetut anturit (T8 & T9)

5.2.3 Normaalia ylemmäs asennetut anturit

Tärinämittari tulee asentaa kantavaan rakenteeseen sellaiseen kohtaan, johon kohdistuu maksimaalinen kuormitus yläpuolisilta rakenteilta. Suomessa vakiintuneen käytännön mukaisesti optimioloissa tärinämittari sijoitettaisiin edellä mainitun ohjeen mukaisesti rakennuksen lähinnä työmaata olevan nurkan sokkeliin. Mittariasennuksessa voidaan joutua tekemään kuitenkin kompromisseja, joiden seurauksena mittarien sijainti voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Yksi mitattuihin arvoihin vaikuttava tekijä on mittauspisteen korkeus perustamistasoon nähden.

Asennuskorkeuden merkitystä tutkittiin viidellä anturiyksiköllä. Referenssimittauspisteen vieressä olevan käytävän oven viereen asennettiin ylös tiiliseinään yksi V10-anturi

(T4) ja suoraan referenssimittauspisteen yläpuolelle yksi kolmiaksiaalianhuri (T5). Edellä mainittujen lisäksi Telehuoneen oven ja referenssimittauspisteen väliin asennettiin kaksi yksiaksiaalista anturia. Näistä oikein asennetulta päin katsottuna ensimmäinen (T12) kiinnitettiin 0,82 m päähän 13° vertikaalikulmassa. Toinen (T14) sijaitsi 1,32 m vaakaetäisyydellä ja 45° vertikaalikulmassa referenssimittauspisteeseen nähden. Näistäkin antureista otettiin asennuskuva (kuva 21) anturien välisten etäisyyksien havainnollistamiseksi.



KUVA 21. Alatasossa olevat anturit järjestyksessä vasemmalta oikealle: T2, referenssimittauspiste, T6, T7, T12, T13, T14.

5.3 Mittarien säädöt

Asennetut mittarit olivat etäsäädettäviä. Asetukset syötettiin antureille Sigicom:n hyväksymällä INFRA Remote-ohjelmistolla. Kolmiaksiaalisissa antureissa käytettiin DIN 4150 – standardia, jossa nauhoitusaika säädettiin kahden sekunnin pituiseksi, intervalliaika kahdeksi minuutiksi ja triggeraaja, eli nauhoituskynnys 2 mm/s tasolle. Säädöt varmistivat, että työmaalta saatiin kaikki oleellinen tieto nykyisen ja tulevien tutkimusten pohjaksi.

6 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tuloksia räjäytyksistä kerättiin 6.10.- 24.10.2014. Tällä aikavälillä räjäytyksiä tehtiin 28 ja jokaiselle mittarille kertyi mittaustuloksia etäisyystietoineen (liite 1). Analysointi kohdennettiin heilahdusnopeuden pystykomponenttiin, joka on juridisesta näkökulmasta tärkein mitattava suure. Jatkotutkimuksissa voidaan hyödyntää kerättyä tietoa ja analysoida lisäsuureita.

Antureiden mittaustuloksista laskettiin eri vertailupareille ja – ryhmille verrantojen maksimi- ja minimiarvot. Arvot ilmaisevat antureiden välisen riippuvuussuhteen ääripäät, eli pienimmät ja suurimmat yksittäisten mittaustulosten erotukset. Lisäksi heilahdusnopeuden arvoista laskettiin keskihajonnat anturipareittain ja arvoista koottiin suhdelukujen avulla keskimääräisiä prosentuaalisia eroja eri vertailupareille. Suhdeluvuista luotiin taulukot 5-7 ja niiden arvot laskettiin kaavalla 10:

$$s_n = \sum \frac{T_x}{T_y} / z \quad (10)$$

s_n = suhdeluku

T_x & T_y = mittaustulokset tietyistä kahdesta mittauspisteestä räjäytys hetkellä

z = vertailujen lukumäärä (kpl)

Näin saaduista suhdeluvuista laskettiin eri vertailupareille prosentuaaliset erot kaavalla 11:

$$S_n(\%) = (1 - s_n) * 100 \% \quad (11)$$

S_n = Kahden eri mittauspisteen prosentuaalinen erotus (%)

Rakenteille määritettiin myös ohjearvot eri etäisyyksille. Tämä tehtiin etäisyysvaikutuksen havainnollistamiseksi. Kaavioissa ohjearvo esitetään mustana käyränä, jonka pystysuuntainen arvo vastaa kyseisen räjäytyksen etäisyyttä mittauspisteisiin. Ohjearvo määritettiin kolmelle etäisyydelle, joista pienin oli kymmenen metriä. Tämän lisäksi ohjearvot laskettiin 25 m:lle ja 40 m:lle. Taulukon 1 mukaan rakennustapakerroin on

tässä tapauksessa 0,85 (FISE A) ja heilahdusnopeuden perusarvo taulukon 2 mukaan kiinteälle kalliolle 10 m etäisyydellä $v_{10m} = 70 \text{ mm/s}$. 25 m ja 40 m etäisyyksille saatiin perusarvot interpoloimalla taulukon 2 arvoja väleillä 20–30 m ja 30–50 m. Näin saatiin perusarvoiksi $v_{25m} = 50 \text{ mm/s}$ ja $v_{40m} = 42 \text{ mm/s}$. Tällöin ohjearvot eri etäisyyksille saatiin kaavan 9 mukaan:

$$v_1 = 0,85 \times 70 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 59,5 \text{ mm/s}$$

$$v_2 = 0,85 \times 50 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 42,5 \text{ mm/s}$$

$$v_3 = 0,85 \times 42 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 35,7 \text{ mm/s}$$

6.1 Asennusvirheiden merkityksen analysointi

Tutkimuksen lähtökohtana oli tutkia asennusvirheiden ja asennuspaikan merkitystä mitaustuloksiin. Tämä saavutettiin laskemalla anturiyksiköiden mittaustulosten välisiä yhteyksiä, kuten verrantojen maksimit ja minimi sekä verrantojen keskiarvon prosentuaalisena vertailuna kahden tai useamman anturin tuloksista.

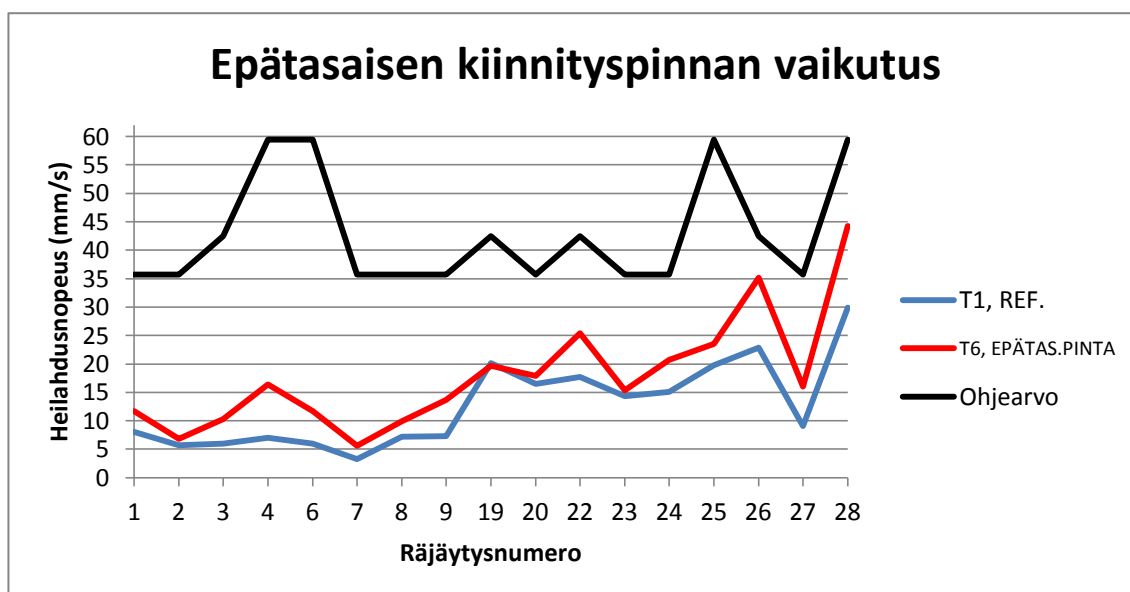
Asennusvirheiden merkityksen anturit on esitelty kappaleessa 5.1 ja niiden tutkimiseen valitut anturiyksiköt olivat T6 & T7 ja anturit T15–T17. Kokeissa anturiyksiköiden tuloksia verrattiin pääsääntöisesti referenssimittauspisteen tuloksiin. Vinoon asennettuja antureita verrattiin referenssimittauspisteen lisäksi myös sekundääriseen referenssimittauspisteeseen (T12) Näiden antureiden tuloksia verrattiin referenssimittauspisteen arvoihin edellä mainituin metodein. Asennusvirheellisten anturien keskiarvotiedot on esitetty taulukossa 6. Siinä mainitut arvot ilmaisevat vertailuparin keskimääräiset erot prosentteina.

TAULUKKO 6. Asennusvirheellisten anturiyksiköiden keskimääräinen suhdeluku- ja prosentuaalivertailu.

ASENNUSVIRHEELLISTEN ANTURIEN SUHDELUKU-, & PROSENTUAALIVERTAILU					
Suhdeluvut		T1 on pienempi kuin	(%)	T1 on suurempi kuin	(%)
T1/T6, REF/EPÄTAS.PINTA	0,70	T6	30,0		
T1/T7, REF/VÄÄRINPÄIN	0,90	T7	10,1		
T1/T12, REF/REF#2	1,57			T12	56,5
T1/T13, REF/YLIKIRISTETTY	1,45			T13	44,6
T1/T15, REF/LÖYSÄ KIINNITYS	0,79	T15	21,4		
T1/T16, REF/15°	1,49			T16	49,0
T1/T17, REF/30°	0,84	T17	15,8		

6.1.1 Epätasaisen kiinnityspinnan merkitys

Tutkimuksessa yksi V12-yksikkö (kuva 15) asennettiin ilman kahta seinäjalkaa. Tällöin anturiyksikkö ei kiristy kunnolla kiinnityspintaan ja se pääsee liikkumaan louhintatärinän vaikutuksesta mittaushetkellä. Kokeella tutkittiin epätasaisen kiinnityspinnan merkitystä heilahdusnopeuden pystykomponentin mittaustuloksiin. Anturia verrattiin referenssimittauspisteeseen ja mitattujen 17 räjäytyksen mittaustulokset esitetään kaaviossa 1.



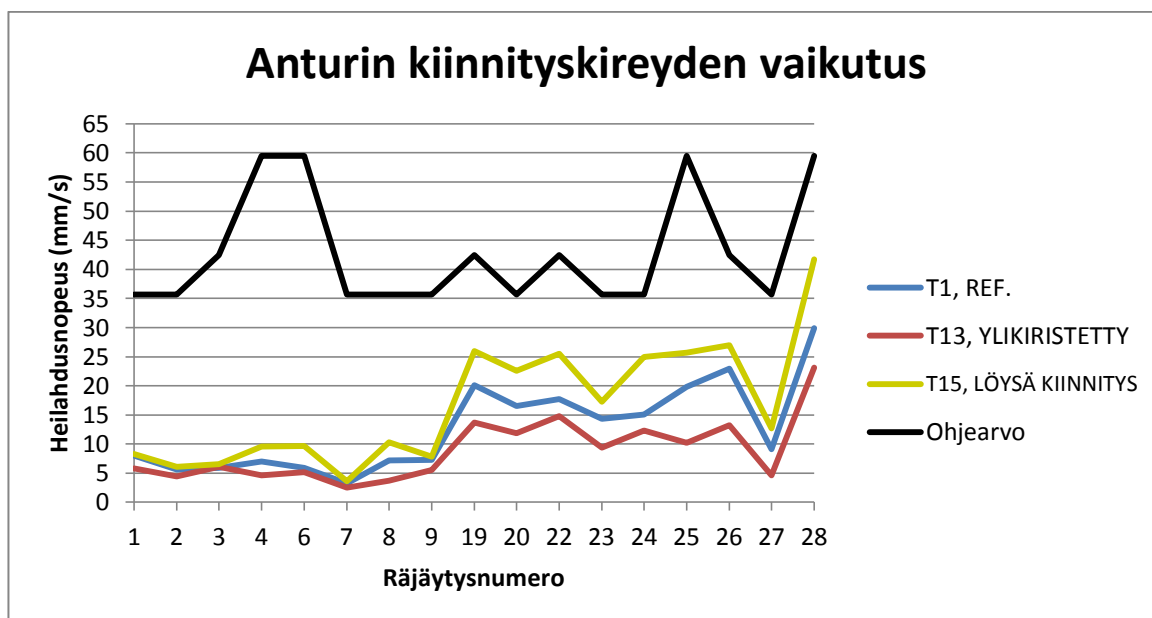
KAAVIO 1. Epätasaisen kiinnityspinnan vaikutus heilahdusnopeuden pystykomponenttiin.

Kaaviosta 1 nähdään, että epätasaisesti kiinnitetty anturi on mitannut suurempia arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi. Ainut poikkeus on 19. räjäytys, jossa mitattujen heilahdusnopeuksien erotus on 0,4 mm/s (liite 4). Kaaviosta nähdään myös, että mitatut arvot ja hajonta kasvavat etäisyyden pienetessä. Verrannon maksimi, eli vertailuparin tulosten suurin erotus oli 4. räjäytyksessä ja sen suuruus oli 42,7 %. Siinä louhintaetäisyys oli 12 m (liite 1, 18). Heilahdusnopeuden arvona suurin ero oli 14,4 mm/s, joka mitattiin 28. räjäytyksessä. Siinä etäisyys mittauspisteisiin oli noin kahdeksan metriä (liite 1, 1). 19. ja 23. räjäytyksessä molemmat anturit mittasivat käytännössä samat arvot: niiden erotukset samassa järjestyksessä ilmoitettuna ovat 0,4 mm/s ja 1,1 mm/s (liite 4.)

Keskiarvotarkastelussa epätasaiselle pinnalle kiinnitetyn anturin arvot olivat 30,0 % suuremmat kuin referenssimittauspisteen (taulukko 6). Vertailuparin suhdelukujen keskihajonta oli 0,17, eli kyseisten anturien mitaamat tulokset korreloivat voimakkaasti. Kaaviosta voidaan kuitenkin lukea, että etäisyyden kasvaessa myös korrelaatio vähenee, sillä arvojen erotus on pienempi.

6.1.2 Kiinnityskireyden merkitys mittaustuloksiin

Anturin kiinnityskireyden merkitystä tutkittiin yhdellä kolmiaksiaalianturilla (T15) ja yksiaksiaalisella anturilla (T13). Kolmiaksiaalianturi kiinnitettiin löysästi kun taas yksiaksiaalianturin kiinnityspulttia kiristettiin liikaa, jolloin sen messinkilyöntitulppa murtui. Kokeessa antureita verrattiin ryhmässä referenssimittauspisteen kanssa. Anturit mittasivat tuloksia 17 räjäytykselle ja niiden tulokset on esitetty kaaviossa 2.



KAAVIO 2. Kiinnityskireyden merkitys heilahdusnopeuden pystykomponenttiin.

Tuloksista (liite 4) nähdään, että löysästi kiinnitetty anturiyksikkö mittasi suurimmat tulokset vertailuryhmässä joka räjäytykselle. Löysästi kiinnitetyn anturin ja referenssimittauspisteen mittaustulosten erotuksen maksimi oli 28. räjäytyksessä, jossa louhintäetäisyys oli 8 m. Siinä löysästi kiinnitetty mittasi 11,8 mm/s suuremman arvon kuin referenssimittauspisteen anturi. Referenssimittauspisteen arvot olivat pienemmät kuin löysästi kiinnitetyn anturin joka räjäytyksessä.

Räjäytysten ollessa 20–50 m etäisyydellä referenssimittauspisteen ja löysäkiinnitteisen mittarin prosentuaalinen ero mittaustuloksissa oli alle 10 %. Pienin ero prosentuaalisesti mitattiin etäisyyden ollessa 45 m 1. räjäytyksessä, jossa löysästi kiinnitetty mittasi 3,6 % suuremman arvon. Vastaavasti suurin heilahdusnopeuden erotus mitattiin 24. räjäytyksessä, missä arvojen erotus oli 39,6 % (liite 1; liite 4). Keskiarvovertailussa löysästi

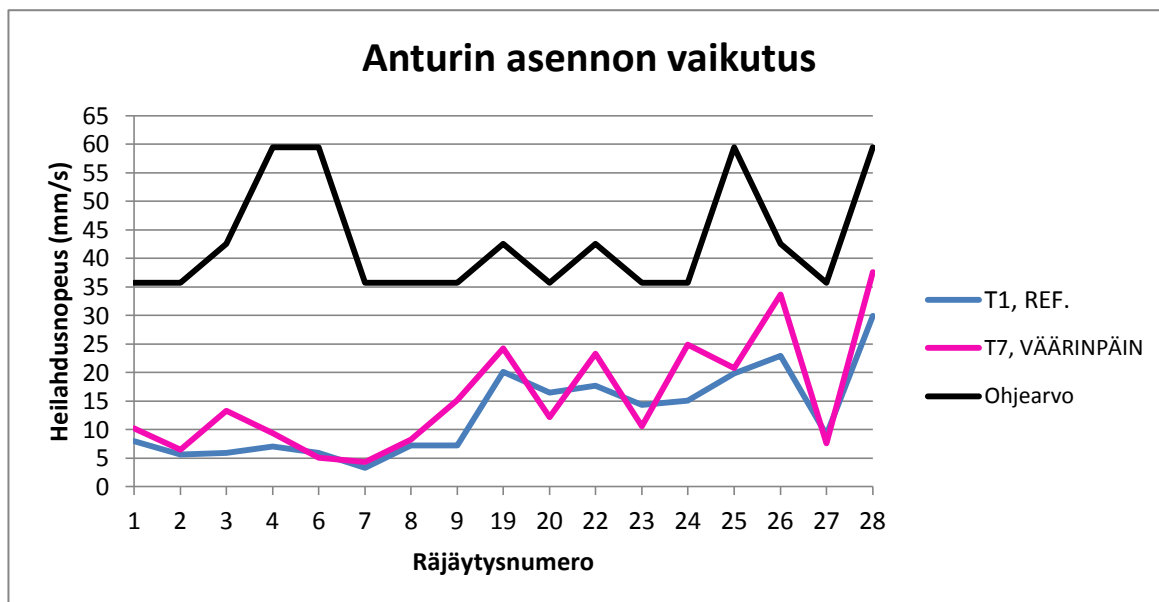
kiinnitetty anturi mittasi 21,4 % suurempia arvoja kuin referenssimittauspiste (taulukko 6.)

Liikaa kiristetty anturi mittasi vertailuryhmän pienimmät heilahdusnopeuden arvot. Ne olivat keskimäärin 44,6 % referenssimittauspisteen ja 87,9 % löysästi kiinnitetyn anturin arvoja pienempiä (taulukko 6). Heilahdusnopeuden suurimmat erot mitattiin räjäytysetäisyyden ollessa pieni. Suurin ero heilahdusnopeudessa oli liikaa kiristetyin ja referenssimittauspisteen tuloksissa 26. räjäytyksessä, jossa louhintaetäisyys oli 25 m (liite 1, 2-3). Siinä referenssimittauspisteeltä mitattiin 9,7 mm/s suurempi arvo. Verrattaessa löysästi kiinnitettyyn anturiin, oli liikaa kiristetyin tulos 28. räjäytyksessä 15 mm/s pienempi. Liikaa kiristetyin anturin mittasi jokaisessa räjäytyksessä referenssimittauspisteen anturia pienemmän arvon (liite 4.)

Vertailuryhmän anturien tuloksista on luettavissa, että etäisyydellä on vaikutus mittausvirheen suuruuteen. Etäisyyden pienentyessä virheellisesti kiinnitettyjen anturien tulokset alkavat poiketa referenssimittauspisteen tuloksiin verrattuna entistä enemmän. Liikaa kiristetyin anturin tapauksessa tämä tarkoittaa, että etäisyyden pienentyessä sen mitaamat arvot eivät kasva referenssimittauspisteen mitaamien arvojen mukaisesti, vaan arvojen suhteellinen ero kasvaa mitatulla suurella (liite 4.)

6.1.3 Anturin asennus väärinpäin

Anturin asennusasennon merkitystä tutkittiin kuvan 16 mukaisesti asennetulla V12-anturilla. Kokeessa tutkittiin, miten väärinpäin kiinnitetyn anturin pystykomponentti mittaa ollessaan käytännössä vaakakomponentti. Pysty- ja pituuskomponentin mitaamien arvojen on osoitettu oleman lähes olemattomia heilahdusnopeuksien pysyessä alhaisina (liite 2). Tutkimusaikana mitatut heilahdusnopeudet olivat kuitenkin suhteellisen korkeita, jolloin pysty- ja pituuskomponentit ovat myös mitanneet väärinpäin asennetussa anturissa (liite 1; kaavio 3). Kokeen anturin tuloksia verrattiin referenssimittauspisteeseen. Tuloksia saatiin 17 räjäytyksestä ja ne on esitetty kaaviossa 3.



KAAVIO 3. V12-anturin asennusasennon merkitys heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoihin.

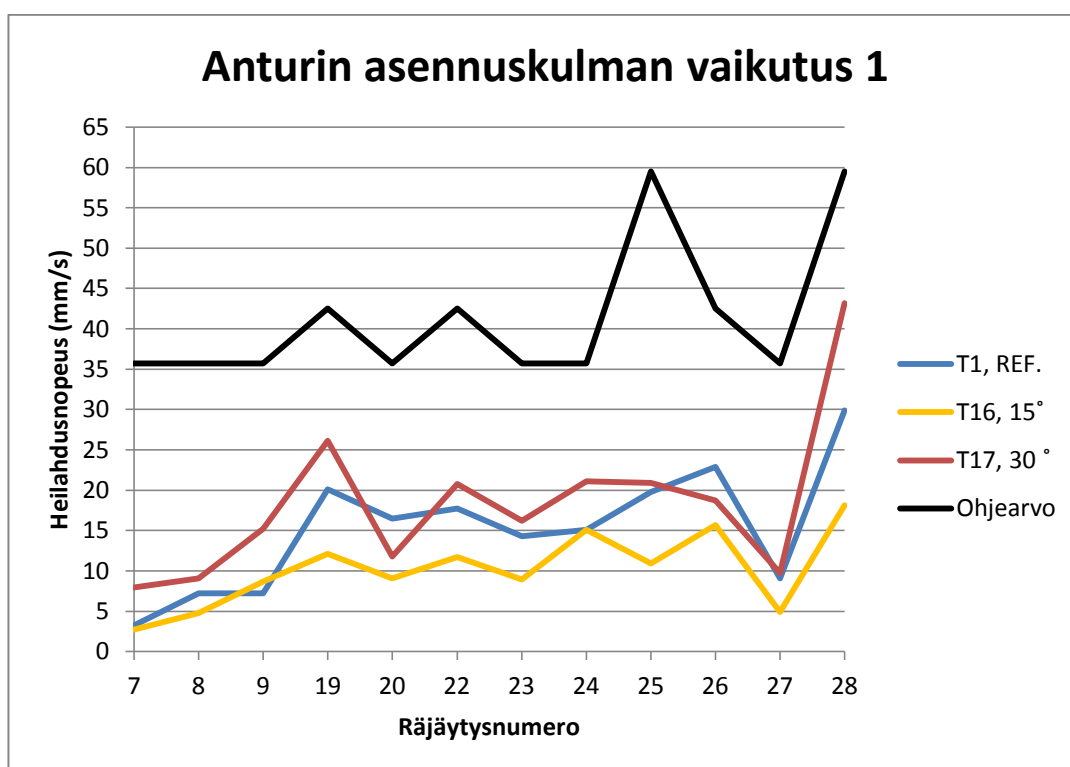
Väärinpäin kiinnitetty anturi mittasi sekä suurempia että pienempiä arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi. Suurimmat heilahdusnopeuden erot mitattiin 20. ja 26. räjäytyksessä. 20. räjäytyksessä referenssimittauspisteen mittaama heilahdusnopeus oli 4,3 mm/s suurempi 41 m louhintaetäisyydellä. Vastaavasti 26:nnessä väärinpäin kiinnitetyn mittaustulos oli 10,8 mm/s suurempi. Siinä etäisyys louhintaan oli 22 m (liite 1,2-3, 7-8; liite 4.)

Prosentuaalisesti suurin ero vertailuparin arvojen välillä oli 3. räjäytyksessä 27 m etäisyydellä, missä väärinpäin kiinnitetty mittasi 55,3 % suuremman arvon. (liite 4). Vastaavasti pienimmillään väärinpäin asennetun anturin arvo oli 74,1 % referenssimittauspisteen arvosta. Kyseinen ero mitattiin räjäytyksessä 23, jossa etäisyyttä louhintaan oli 43 m (liite 1, 5-6, 18–19). Keskiarvovertailussa (taulukko 6) väärinpäin kiinnitetty anturiyksikkö mittasi 10,1 % suurempia arvoja kuin referenssimittauspiste.

Mitatut tulokset tukivat kokeen lähtökohtaa. Heilahdusnopeuksien ollessa pystykomponentille yli 5 mm/s, väärinpäin asennetun anturin pystykomponentti on saanut tuloksia esimerkkitapauksesta poiketen. Räjäytyksistä ei kuitenkaan saatu tietoa alle 5 mm/s tärinätason vaikutuksista väärinpäin asennettuun pystykomponenttiin. Mahdollisissa lisätutkimuksissa tulisi pyrkiä löytämään kohde, jossa tärinätaso pääsee riittävän matalaksi ilmiön tutkimista varten.

6.1.4 Vinoon asentamisen merkitys

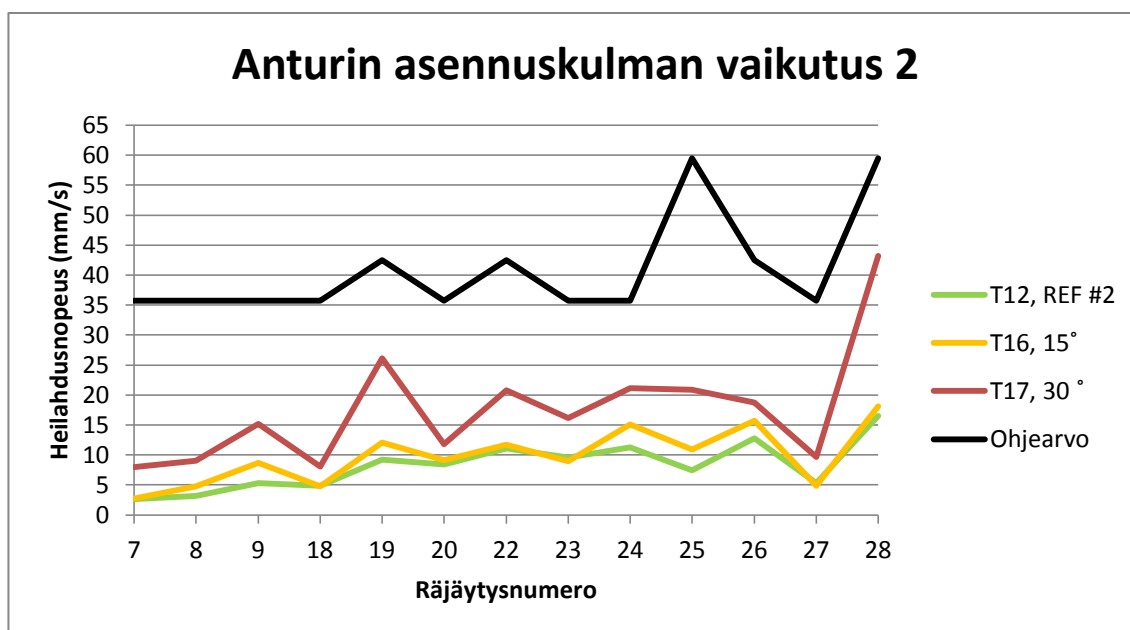
Tärinäanturit tulee asentaa kohtisuoraan asennuspintaan nähden. Kun tärinäanturi kiinnitetään niin että valmistajan maksimiasennuskulman arvo ylittyy, alkaa sen pystykomponentti mitata pystysuuntaisten voimien lisäksi pituussuuntaisia voimia. Tämä voi tietyissä tilanteissa nostaa mittaustuloksia. Tutkimuksessa betoniseinään kiinnitettiin Sigi-com V10-anturit 15 ° (T16) ja 30 ° (T17) vinoon kulmaan. Niiden tuloksia verrattiin referenssimittauspisteeseen (T1) ja niiden läheisyyteen kiinnitettyyn sekundääriseen referenssimittauspisteeseen (T12). Vinoon asennetut anturit mittasivat tuloksia 12 räjäytyksestä ja niiden tulokset esitetään kaavioissa 4 & 5.



KAAVIO 4. Kulmaan asentamisen vaikutus 15 ° ja 30 ° asteella verrattuna referenssimittauspisteeseen.

Sekä 15 °:een että 30 °:aan kulmaan asennetut anturit mittasivat sekä isompia että pienempiä arvoja kuin referenssimittauspiste. Näiden tuloksista tehtiin havaintoja seuraavasti:

- Keskiarvovertailussa 15 ° kulmaan asennetun anturin arvot olivat 49 % referenssimittauspisteen tuloksia pienemmät. Vastaavasti 30 ° kulmaan asennetun arvot olivat 15,8 % suurempia kuin referenssimittauspisteen arvot (taulukko 6).
- Suurin heilahdusnopeuksien erotus oli 30 ° kulmaan asennetun anturin ja referenssimittauspisteen välillä oli 28. räjäytyksessä: 13,3 mm/s (liite 4). Siinä etäisyys louhinnasta mittauspisteisiin oli 8-9 m (liite 1,1.)
- 15 ° kulmaan asennettu anturi mittasi referenssimittauspistettä suuremman arvon ainoastaan yhdessä räjäytyksessä (9). Siinä tulosten ero oli 1,45 mm/s ja louhintaetäisyys 41–42 m (liite 1, 14–15; liite 4.)
- Etäisyyden vaikutus hajontaan on samansuuntainen kuin väärinpäin asennetulla anturilla (kaavio 3) ja löysästi kiinnitetyllä anturilla (kaavio 2): louhintaetäisyyden pienentyessä mittausvirheen suuruus kasvaa.



KAAVIO 5. Kulmaan asentamisen vaikutus 15 ° ja 30 ° asteelle verrattuna T12:een

Kulmaan asennetut anturit mittasivat suurempia arvoja kuin niiden läheisyyteen oikein asennettu sekundäärinen referenssimittauspiste. Vertailuryhmästä tehtiin myös seuraavanlaisia havaintoja:

- 15 ° kulmaan asennetun ja sekundäärisen referenssimittauspisteen arvot korreloivat voimakkaasti. Tämä ei kuitenkaan päde verrattuna 30 ° kulmaan asennettuun.

- Keskiarvotarkastelussa T12:n arvot olivat 16,0 % pienemmät kuin 15 ° kulmaan ja 35,4 % pienemmät kuin 30 ° kulmaan asennettujen anturien tulokset (taulukko 7).
- Suurin heilahdusnopeuden ero vertailuryhmässä oli sekundäärisen referenssimittauspisteen tuloksen ja 30 ° kulmaan asennetun anturin tuloksen välillä. Se mitattiin 28. räjäytyksessä ja sen suuruus oli 26,7 mm/s (liite 4). Etäisyys louhintoihin oli 9 m. Heilahdusnopeuden erot vertailuryhmässä olivat muutenkin suurempia louhintaetäisyyden ollessa pieni. Ilmiö näkyy esimerkiksi 15 ° kulmaan asennetussa anturissa räjäytyksissä 19, 22 ja 25 (liite 1, 1, 3-4, 6, 8-9).

T12 oli huomattavasti lähempänä 30 ° kulmaan asennettua anturia kuin referenssimittauspiste (kuvat 12 & 21). Keskiarvotarkastelussa referenssimittauspisteen arvot olivat 55,2 % suurempia kuin T12:n (taulukko 6). Nämä asiat huomioiden 30 ° kulmaan asennettu anturi mittasi kokeessa erittäin suuret heilahdusnopeuden arvot. Tästä voidaan päätellä, että pituussuuntaiset heilahdusnopeuden arvot ovat olleet vinoon asennettujen anturien kohdalla suuria.

TAULUKKO 7. Oikein asennetun 2. referenssimittauspisteen anturin keskimääräinen suhdeluku- ja prosentuaalivertailu kulmaan asennettuihin antureihin.

KULMAAN ASENNETTUIJEN ANTURIEN SUHDELUKU-, JA PROSENTUAALIVERTAILU REF. #2 NÄHDEN			
Suhdeluvut		T12 on pienempi kuin	(%)
T12/T16, REF.#2/15°	0,84	T16, 15°	16,0
T12/T17, REF#2/30°	0,65	T17, 30°	35,4

6.2 Asennuspaikan merkityksen analysointi

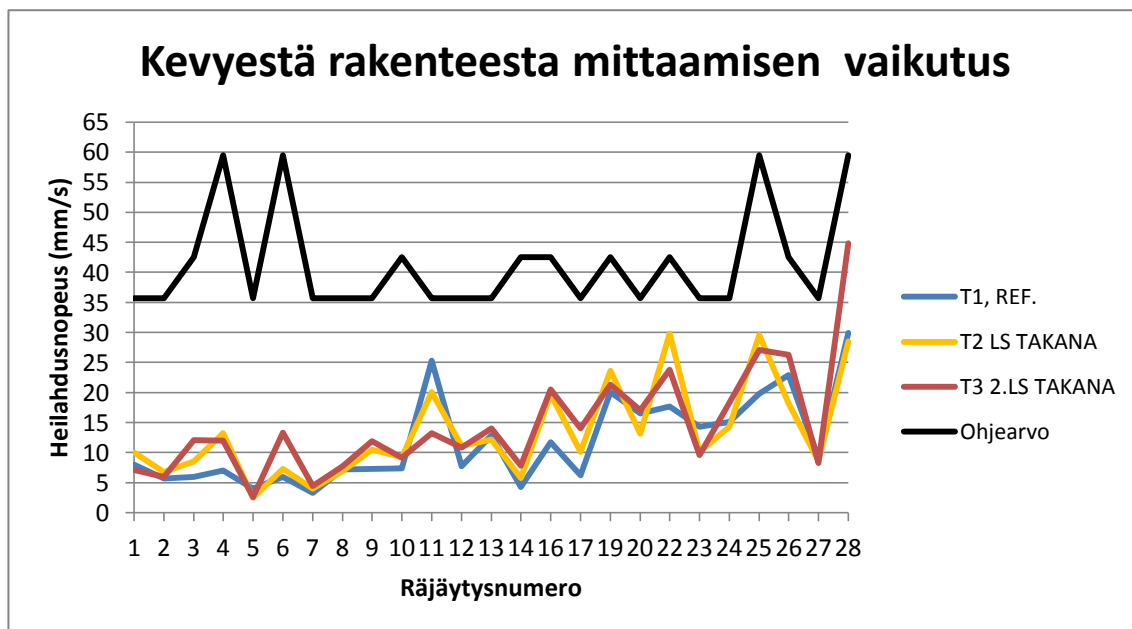
Asennuspaikan merkityksen tutkimiseksi kohteessa asennettiin 10 anturiyksikköä erilaisille kiinnityspinnoille. Näistä osa kiinnitettiin samalle korkeustasolle referenssimittauspisteen (T1) kanssa ja toiset eri korkeustasoihin samalle käytävälle referenssimittauspisteen kanssa (kuvat 13–14). Antureita vertailtiin referenssimittauspisteeseen. Testipisteiden tulosten keskimääräinen yhteys referenssimittauspisteeseen on esitetty suhdelukuina ja prosentuaalisina eroina taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Asennuspaikan merkityksen anturiyksiköiden keskimääräinen suhdeluku- ja prosentuaalivertailu.

ASENNUSPAIKAN MERKITYKSEN ANTURIEN SUHDELUKU-, JA PROSENTUAALIVERTAILU					
Suhdeluvut		T1 on pienempi kuin	(%)	T1 on suurempi kuin	(%)
T1/T2, REF/LS TAKANA	0,944	T2, LS TAKANA	5,6		
T1/T3, REF/2.LS TAKANA	0,892	T3, 2.LS TAKANA	10,8		
T1/T4, REF/2.LS TAKANA YLÄ	0,447	T4, 2.LS TAKANA YLÄ	55,3		
T1/T5, REF/REF.YLÄP.	1,095			T5, REF.YLÄP.	9,5
T1/T8, REF/PILARI YLÄ	0,784	T8, PILARI YLÄ	21,6		
T1/T9, REF/PILARI ALA	0,709	T9, PILARI ALA	29,1		
T1/T10, REF/SEINÄ YLÄ	0,855	T10, SEINÄ YLÄ	14,5		
T1/T11, REF/SEINÄ ALA	0,925	T11, SEINÄ ALA	7,5		
T1/T12, REF/REF#2	1,565			T12, REF#2	56,5
T1/T14, REF/PAIKAN MUUTOS	0,991	T14, PAIKAN MUUTOS	0,9		

6.2.1 Kevyestä rakenteesta mittaamisen vaikutus

Tärinämittaus tulisi suorittaa jäykästä, kantavasta rakenteesta (RIL 253–2010, 79). Tutkimuksessa tutkittiin mittaustulosten muutosta asennettaessa antureita kantavan ulkoseinän lisäksi myös kevyeen tiiliseinään (kuva 14). Tiiliseinään kiinnitettiin samaan korkeustasoon yksi V12-anturi (T2) ja yksi V10-anturi (T3). Kokeen tarkoituksena oli kartoittaa kevyestä rakenteesta mittaamisen vaikutusta heilahdusnopeuden pystykomponentin mittaustuloksiin. Anturit mittasivat tuloksia 26. räjäytyksestä. Kokeessa mitatut heilahdusnopeuden arvot on esitetty räjäytyksittäin kaaviossa 6.



KAAVIO 6. Kevyestä rakenteesta mittaamisen vaikutus

Kaaviosta 6 nähdään, että tiiliseinään kiinnitettyjen anturien tulokset korreloivat referenssimittauspisteen kanssa vain vähän. Testipisteiden välinen yhteys on vain hieman voimakkaampi kuin kummankaan yhteys referenssimittauspisteeseen. Heilahdusnopeuden arvolla mitattuna vertailuryhmän suurimmat erot syntyivät räjäytysten ollessa lähellä ja ne mitattiin tiiliseinän antureista (liite 1; liite 4.)

Lähemmäs referenssimittauspistettä asennetun anturin (T2) ja referenssimittauspisteen suurin heilahdusnopeuden ero mitattiin 22. räjäytyksessä. Siinä tiiliseinästä mitattiin 12,1 mm/s suurempi arvo kuin referenssimittauspisteestä, jonka etäisyys räjäytykseen oli 22 m (liite 1, 6; liite 4).

Tiiliseinästä mitatut tulokset olivat pääasiassa pienempiä silloin, kun etäisyys räjäytyksistä mittauspisteisiin oli yli 20 m. Esimerkiksi 11. räjäytyksessä, jossa etäisyys räjäytyksiin oli 42 m (liite 1, 13), mitattiin referenssimittauspisteeltä 5,2 mm/s suurempi tulos kuin tiilipintaan kiinnitetyiltä antureilta (liite 4). Vertailtaessa tuloksia etäisyyden mukaan on nähtävissä, että etäisyyden pienetessä mittausvirheen suuruus kasvaa. Keskiarvotarkastelussa referenssimittauspisteeltä mitattiin 5,6 % pienemmät arvot kuin sitä lähemmäs tiiliseinään kiinnitetystä anturista (taulukko 8.)

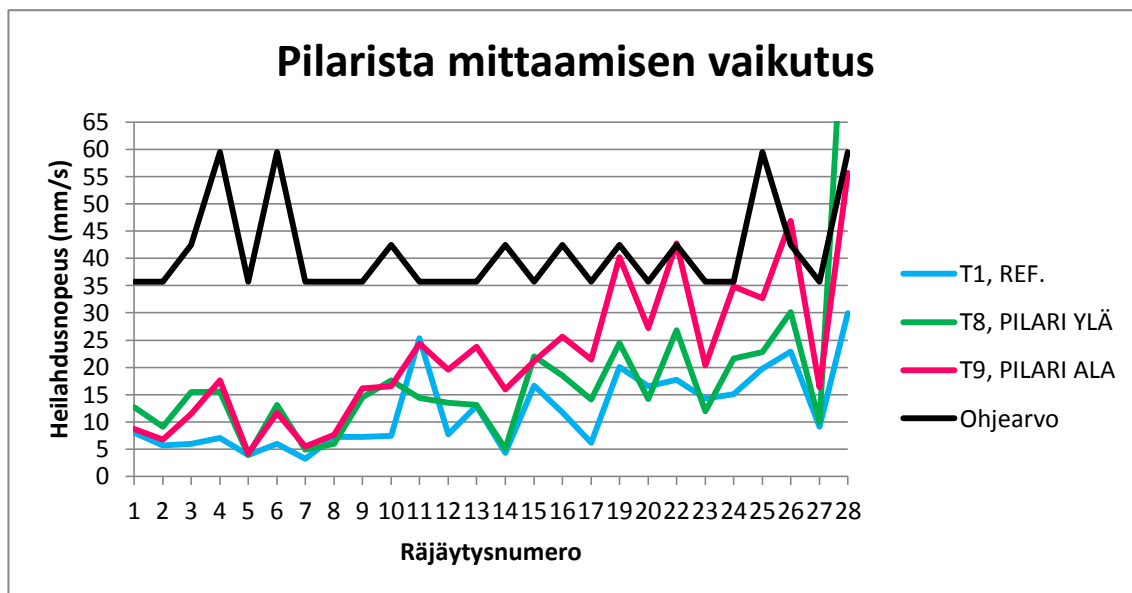
Ovenkarmin viereen asennetun anturin (T3) tuloksia verrattiin referenssimittauspisteeseen. Suurin heilahdusnopeuden ero verrattuna referenssimittauspisteeseen mitattiin 28. räjäytyksessä 8 m louhintaetäisyydellä. Siinä ovenkarmin vierestä mitattiin 14,9 mm/s suurempi arvo kuin referenssimittauspisteen kohdalta. Referenssimittauspisteeltä mitattu suurin arvo verrattuna T3:een oli 11. räjäytyksessä. Siinä etäisyyttä louhintaan oli 42 m ja arvojen erotus oli 12,1 mm/s (liite 1, 1, 13; liite 4). Keskiarvona ilmaistuna referenssimittauspisteen arvot olivat 10,8 % pienempiä kuin ovenkarmin vierestä mitatut (taulukko 8.)

Etäisyyden vaikutus näkyy myös tiilipinnalle kiinnitettyjen anturien vertailuissa referenssimittauspisteeseen nähden. Esimerkiksi räjäytyksissä 4, 25 ja 28 tiiliseinään kiinnitettyjen (T2 & T3) mittaustulokset ovat huomattavan suuria verrattuna referenssimittauspisteen arvoihin. Etäisyys näissä räjäytyksissä oli mittauspisteisiin 10–12 m (liite 1, 1, 3, 18). Vastaavasti etäisyyden ollessa yli 20 m ovat heilahdusnopeuden arvojen erot suhteessa vähäisiä. Havainnot tukevat käsitystä, jonka mukaan etäisyyden pienentyessä asennusvirheen suuruus kasvaa mittaustuloksessa.

6.2.2 Pilarikiinnityksen vaikutus

Työssä tutkittiin myös mittauksen tekemistä raskaasti raudoitetusta rakenteesta. Kaksi kolmiaksiaalista anturiyksikköä kiinnitettiin teräsbetonipilariin referenssimittauspisteen lähelle (kuvat 12 & 20). Näistä alempi (T9) oli referenssimittauspisteen korkeudella ja toinen (T8) 1,90 m sitä ylempänä. Vaakasuuntainen etäisyys referenssimittauspisteeseen oli alas asennetusta anturista noin 2,2 m.

Anturit mittasivat tuloksia 26. räjäytyksestä ja niiden analysointi kohdennettiin heilahdusnopeuden pystykomponenttiin. Pilariin kiinnitettyjen anturien tuloksia verrattiin keskenään sekä referenssimittauspisteeseen. Mittaustuloksista luotiin kaavio 7.



KAAVIO 7. Pilarista mittaamisen vaikutus heilahdusnopeuden pystykomponentin tuloksiin.

Pilariin kiinnitetyt anturit mittasivat lähes joka räjäytyksessä suurempia arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi. Etenkin samaan korkeustasoon asennetun anturin (T9) tulokset olivat hyvin suuret. Sen suurin ero heilahdusnopeudessa verrattuna referenssimittauspisteeseen mitattiin 28. räjäytyksessä, jossa eron suuruus oli 25,8 mm/s (liite 4). Räjäytyksen etäisyys oli tuolloin 8-10 m mittauspisteiltä. (liite 1, 1). Pilariin alas asennetun anturin mittaustulokset 11 räjäytykselle olivat vähintään 10 mm/s suuremmat kuin referenssimittauspisteen vastaavat (liite 4).

Vertailuryhmän suurin heilahdusnopeuden ero mitattiin 28. räjäytyksessä. Siinä ylös pilariin asennettu anturi mittasi 69,8 mm/s suuremman arvon kuin referenssimittauspisteen anturi. Pilarista mitatut arvot eivät kuitenkaan olleet aina suurempia kuin referenssimittauspisteeltä mitatut. 11. räjäytyksessä, 42 m louhintaetäisyydellä referenssimittauspisteeltä mitattiin vertailuryhmän suurin arvo: 25,3 mm/s. Se oli 0,9 mm/s suurempi kuin pilariin alas asennetun ja 11,9 mm/s suurempi kuin ylös asennetun anturin mittaama arvo (liite 1, 13; liite 4). Täten voidaan sanoa, etteivät raskaasta raudoitettusta rakenteesta mitatut heilahdusnopeuden pystykomponentit ole aina suurempia kuin niin sanotusti oikein asennetusta anturiyksiköstä mitatut.

Pilariin asennettuja antureita vertailtiin myös keskenään. Tässä vertailussa mittaustulosten verrannon maksimi ja minimi olivat räjäytyksissä 28 ja 26. 28:nnessä ylös kiinnite-

tyn heilahdusnopeuden arvo oli 44 mm/s suurempi kuin alas kiinnitettyssä. Vastaavasti 26:nnessa alas kiinnitetty mittasi 16,8 mm/s suuremman arvon. Pilarista saadut tulokset eivät siis korreloi keskenään, josta osoituksena tuloksista laskettu keskihajonta, 0,517. (liite 4.)

Analysoitaessa teräsbetonipilariin kiinnitettyjen anturien tuloksia, tehtiin lisäksi seuraavat huomiot:

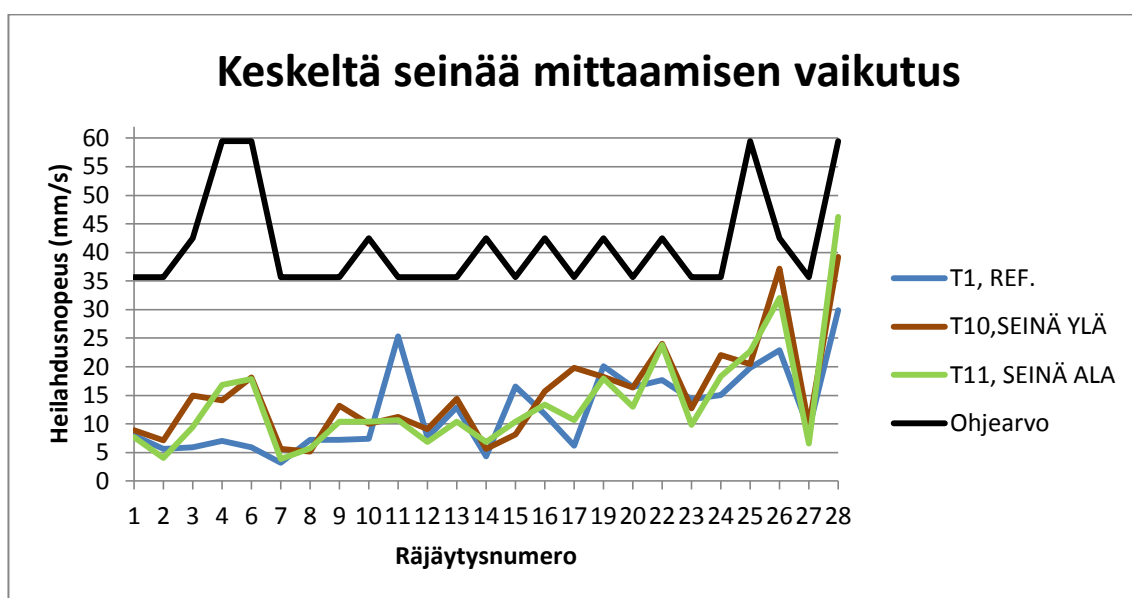
- Alas teräsbetonipilariin kiinnitetyn anturin tulokset ovat enimmäkseen räjäytyksiä suurempia kuin ylös kiinnitetyn. Kyseisten anturien tulokset eivät kasvaneet toisiinsa nähden verrannollisesti, vaan joissain räjäytyksissä ylös kiinnitettyllä oli suurempi mittaustulos (liite 4.)
- Verrattaessa teräsbetonipilariin kiinnitettyjen anturien tuloksia keskenään, ovat alas kiinnitetyn anturin mittaustulokset keskimäärin 34,6 % suurempia kuin ylös kiinnitetyn (taulukko 9.)
- Suurin heilahdusnopeuden ero oli alas kiinnitetyn ja referenssimittauspisteen vertailussa 17. räjäytyksessä. Siinä referenssimittauspisteen arvo oli vain 29 % alas pilariin asennetun anturin mittaustuloksesta. Räjäytyksen etäisyys referenssimittauspisteeseen oli 45 m (liite 1, 10). Vastaavasti pilariin kiinnitettyjen anturien suurin ero mitattiin 28. räjäytyksessä, jossa ylös kiinnitetyn anturin tulos oli 44 mm/s suurempi kuin alas kiinnitetyn (liite 4.)
- Referenssimittauspisteen anturin mittaamiin tuloksiin vertailtaessa raskaasti raudoitetun rakenteen mittaustuloksien virhe kasvaa etäisyyden pienetessä. Tämä näkyy etenkin räjäytyksissä 4, 9, 22 ja 28 (kaavio 7; liite 1.)

TAULUKKO 9. Teräsbetonipilariin kiinnitettyjen antureiden keskimääräinen suhdelu- ja prosentuaalivertailu.

PILARIIN ASENNETTUIJEN ANTURIEN KESKINÄINEN SUHDELUKU-, JA PROSENTUAALIVERTAILU			
		T9 suurempi kuin	(%)
T9/T8, PILARI ALA/PILARI YLÄ	1,346	T8, PILARI YLÄ	34,6

6.2.3 Keskeltä seinää mittaamisen vaikutus

Kokeessa kaksi anturiyksikköä (T10 & T11) asennettiin keskelle tiiliseinää. Näiden etäisyys referenssimittauspisteeseen oli noin 7,9 m (kuvat 13 & 18). Kokeen antureilla tutkittiin keskeltä seinää mittaamisen vaikutusta verrattuna rakenteen reunaan asennettuun referenssimittauspisteeseen. Tuloksia saatiin 26 räjäytyksestä ja niitä verrattiin referenssimittauspisteen vastaaviin. Analyysi kohdennettiin heilahdusnopeuden pysty-arvoon, mutta tutkimuksia jatkettaessa tulisi kiinnittää huomiota myös mitattuihin siirtymiin ja taajuuksiin. Analyysissa ei myöskään oteta huomioon mittauspisteiden välisen etäisyyden vaikutusta. Saadut tulokset on esitetty kaaviossa 8.



KAAVIO 8. Keskeltä seinää mittaamisen vaikutus heilahdusnopeuden pystykomponentin tuloksiin.

Tiiliseinään asennetut anturit mittasivat sekä suurempia että pienempiä arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi. Tuloksista (liite 4) ja kaaviosta (8) lukemalla on selvää, että etäisyyden pienentyessä mitattavan virheen suuruus kasvaa. Tämä näkyy esimerkiksi räjäytyksessä 6, jossa keskelle seinää samaan korkeustasoon referenssimittauspisteen kanssa asennettu anturi mittasi 12 mm/s suuremman arvon. Räjäytys oli tällöin referenssimittauspisteeltä 9 m ja keskeltä seinää 14 m etäisyydellä. Väitettä tukevat myös räjäytykset 25–26 ja 28, joissa seinään kiinnitetyt anturi ovat mitanneet selkeästi suurempia arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi. Näissä etäisyydet olivat välillä 8–25 m (liite 1, 1–4, 17; liite 4.)

Etäisyyden kasvaessa heilahdusnopeuksien erot tasoittuivat huomattavasti, vaikka mitattujen arvojen suuruudet olivat yli 10 mm/s. Tämä näkyy esimerkiksi räjäytyksissä 13 ja 20, joissa etäisyyttä mittauspisteisiin oli 38–44 m (liite 1, 7-8, 12; liite 4). Näissä mitatut heilahdusnopeuden arvot olivat joka mittauspisteellä yli 10 mm/s ja verrantojen maksimi 3,5 mm/s (liite 4). Virheen suuruus on näille räjäytyksille pieni verrattuna lähempänä tehtyihin räjäytyksiin.

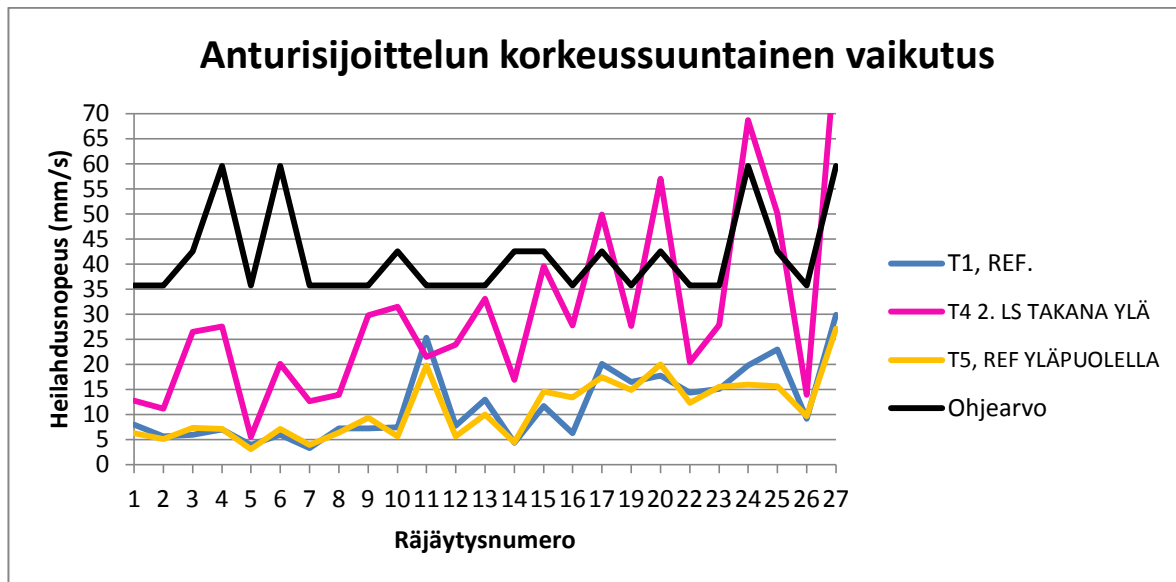
Suurimmat vertailuryhmän heilahdusnopeuden erot mitattiin räjäytyksissä 11 ja 28. 11:nnessä referenssimittauspisteeltä mitattu arvo, 25,3 mm/s, oli yli 14 mm/s suurempi kuin kummastakaan testipisteestä mitattu. Vastaavasti 28:nnessä alas keskelle seinää kiinnitetty anturi mittasi 16,3 mm/s suuremman arvon kuin referenssimittauspiste (liite 4). Etäisyydet louhintoihin olivat 11. ja 28. räjäytyksissä 42–43 m ja 8-9 m (liite 1,1, 13). Keskiarvona ilmaistuna ylemmäksi kiinnitetyn anturin arvot olivat 14,5 % ja alemmaksi kiinnitetyn 7,5 % suuremmat kuin referenssimittauspisteeltä mitattiin (taulukko 8).

Edellä mainittujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että keskeltä seinää mittaaminen nostaa keskimääräisesti heilahdusnopeuden arvoja verrattuna oikein asennetun anturin tuloksiin. Syntyvä mittausvirhe on sitä suurempi, mitä lähempänä räjäytyksiä mitataan. Vastaavasti suuremmilla etäisyyksillä erot voivat tasoittua ja oikein asennettu saattaa mitata jopa suurempia arvoja. Mahdollisissa lisätutkimuksissa tulisi analysoida myös muita mitattuja suureita, jotta keskeltä seinää mittaamiseen saataisiin selkeämpiä tuloksia. Mittaustuloksia voitaisiin myös verrata mahdollisten lisätutkimusten tuloksiin eri työkohteessa.

6.2.4 Korkeussuuntainen vaikutus

Työssä tutkittiin anturin sijoittelun korkeussuuntaista vaikutusta. Annetut ohjeistukset eivät määritä korkeussuuntaista ylärajaa mittariasennukselle, vaan ainoastaan sen, että anturit tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle perustamistasoa (RIL 253–2010, 79). Ko-
keessa kaksi anturiyksikköä asennettiin 1,86 m korkeudelle referenssimittauspisteeseen nähden. Ensimmäisen (T4) kiinnityspinta oli tiili ja sen sivuttaissuuntainen etäisyys referenssimittauspisteestä oli 0,57 m. Toisen (T5) kiinnityspinta oli teräsbetoni ja se

kiinnitettiin suoraan referenssimittauspisteen yläpuolelle. Testianturien välinen etäisyys oli 0,57 m. Tuloksia saatiin 26 räjäytyksestä ja ne on esitetty kaaviossa 9.



KAAVIO 9. Korkeussuuntainen vaikutus heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoihin.

Kaaviosta 9 nähdään, että tiilipinnalle kiinnitetyn anturin (T4) tuloksissa on suuri hajonta. Se mittasi vertailuryhmästä suurimmat arvot, pois lukien 11 räjäytyksen. Sen mitaamat tulokset eivät korreloineet selkeästi vertailuryhmän muiden anturien tuloksiin. Sitä vastoin referenssimittauspisteen yläpuolelle kiinnitetyn V12-anturin (T5) tulokset korreloivat referenssimittauspisteen tulosten kanssa: molempien tuloksista kootut käyrät kasvavat ja vähenevät pääasiassa yhtä voimakkaasti (liite 4.)

Keveyeen tiiliseinään ylös kiinnitetyn anturin tuloksia verrattiin sekä referenssimittauspisteen että sen yläpuolelle asennetun anturin tuloksiin. Vertailtaessa sitä referenssimittauspisteeseen suurin ero heilahdusnopeuksissa oli 53,4 mm/s, joka mitattiin 28. räjäytyksessä 8 m louhintaetäisyydellä (liite 1,1; liite 4). Kuitenkin, prosentuaalitarkastelussa suurin ero mitattiin 3. räjäytyksessä. Siinä keveyeen tiiliseinään ylös kiinnitetyn anturin tulos oli 445 % suurempi kuin referenssimittauspisteen mittaama arvo. Louhintaetäisyys oli tällöin 27 m (liite 1, 18–19; liite 4). Mittaustulosten välinen riippuvuus voidaan ilmaista myös keskiarvona, jossa referenssimittauspisteen mittaamat arvot olivat 55,3 % pienempiä (taulukko 8.)

Vertailu tehtiin myös referenssimittauspisteen ja sen yläpuolelle kiinnitetyn anturin mittaustuloksista. Tarkasteluvälillä ylös asennettu anturi mittasi sekä suurempia että pienempiä arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi. Suurimmat erot mitattiin 17. ja 26. räjäytyksessä. 17:nnessä ylös asennettu anturi mittasi 7,2 mm/s suuremman arvon, siinä missä 26:nnessä referenssimittauspisteeltä saatu tulos oli 7,3 mm/s suurempi (liite 4.) Etäisyys räjäytyksiin oli ensiksi mainitussa 45 m ja 26:nnessä 25 m (liite 1, 10). Keskiarvona ilmoitettuna referenssimittauspisteen yläpuolelle kiinnitetty anturi mittasi 9,5 % pienempiä tuloksia kuin referenssimittauspisteen tulokset (taulukko 8). Kyseisen vertailun tuloksia tulisi analysoida lisää mahdollisissa lisätutkimuksissa muidenkin mittausten suureiden osalta.

Verrattaessa kevyeen tiiliseinään ylös kiinnitettyä anturia referenssimittauspisteen yläpuolelle sijainneeseen anturiin, ovat tulokset hyvin samansuuntaisia kuin vertailtaessa ensiksi mainittua referenssimittauspisteeseen. Heilahdusnopeuden suurin ero mitattiin 28. räjäytyksessä, missä arvojen erotus oli 56,2 mm/s. Lisäksi kahdeksassa räjäytyksessä tiiliseinään kiinnitetty mittasi yli 20 mm/s suuremman arvon kuin betoniin kiinnitetty (liite 4). Mittaustulosten keskiarvona ilmaistuna betonipinnalle kiinnitetyn anturin arvot olivat 59,6 % pienempiä kuin tiilipinnalle kiinnitetyn (taulukko 8). Pienimmillään betonipinnalle kiinnitetyn tulos oli vain 17,9 % tiilipinnalle kiinnitetyn arvosta. Tämä tapahtui 10. räjäytyksessä, jossa louhintaetäisyys oli 32 m (liite 1, 13–14; liite 4.)

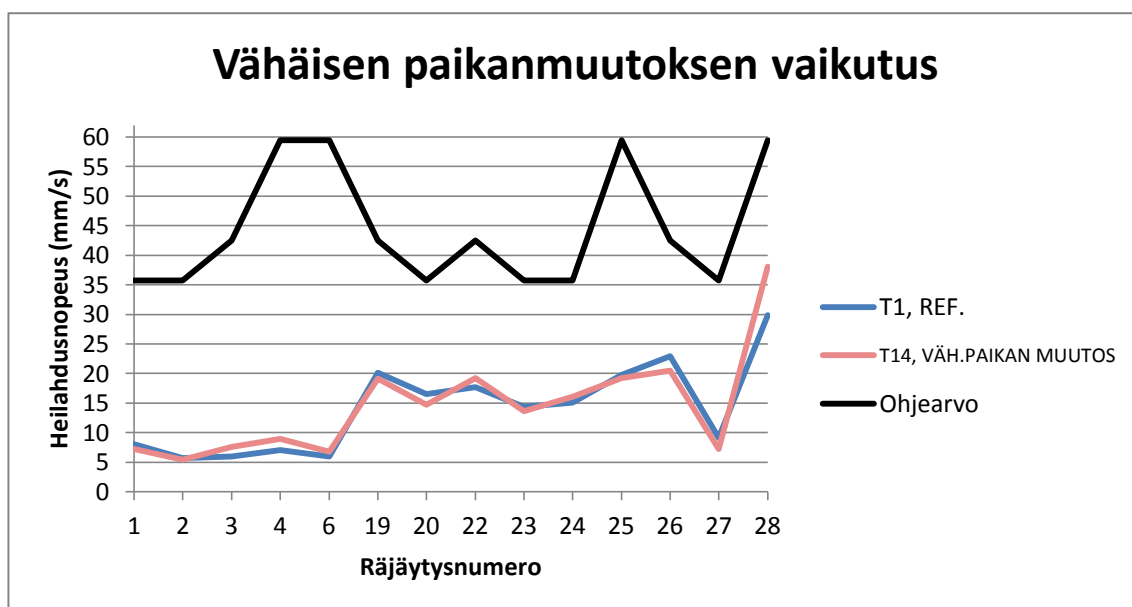
Heilahdusnopeuden tarkastelu antoi vajaan kuvan referenssimittauspisteen yläpuolelle asennettujen anturien toiminnasta ja vaikutuksesta mittaustuloksiin. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa kokeen anturien analysointi pitäisi laajentaa käsittelemään myös heilahdusnopeuden muita komponentteja, siirtymiä ja taajuuksia. Analyysissa tulisi vertaila ylös tiiliseinään kiinnitettyä anturia myös keskelle seinää kiinnitettyjen antureiden suhteen.

TAULUKKO 10. Referenssimittauspisteen yläpuolelle kiinnitettyjen anturien keskimääräinen suhdeluku- ja prosentuaalivertailu.

PILARIIN ASENNETTUJEN ANTURIEN KESKINÄINEN SUHDELUKU-, JA PROSENTUAALIVERTAILU			
		T5 on pienempi kuin	(%)
T5/T4, REF.YLÄP/2.LS TAKANA YLÄ	0,404	T4, 2.LS TAKANA YLÄ	59,60

6.2.5 Vähäisen sijaintimuutoksen vaikutus mittaustulokseen

Tutkimuksessa haluttiin myös tarkastella vähäisen sijaintimuutoksen vaikutusta mittaustulokseen. Kokeessa yksi yksiaksiaalinen anturi (T14) asennettiin vaakasuuntaisesti 1,32 m ja korkeussuuntaisesti 0,89 m päähän referenssimittauspisteestä. Kiinnityspinta oli teräsbetoni. Anturin mittaamia heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoja verrattiin referenssimittauspisteen vastaaviin. Analyysissä ei huomioitu anturien keskinäisen etäisyyden vaikutusta suhteessa räjäytyksiin. Anturiparivertailun tulokset 14 räjäytyksestä on esitetty räjäytyksittäin kaaviossa 10.



KAAVIO 10. Vähäisen korkeuden muutoksen vaikutus heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoihin

Kaaviosta (10) nähdään, että testipisteen tulokset korreloivat voimakkaasti referenssimittauspisteen kanssa. Suurimmat heilahdusnopeuden erot mitattiin 26. ja 28. räjäytyksessä. 26:nnessa referenssimittauspisteeltä mitattiin 2,4 mm/s suurempi arvo, kun taas 28:nnessa T14:n mittaustulos oli 8,2 mm/s suurempi (liite 4). Louhintaetäisyys oli ensiksi mainitussa ja 25 m (liite 1, 2-3). Keskiarvotarkastelussa kokeen antureiden mittaustulokset olivat käytännössä yhtä suuret: erotusta oli vain 0,9 % (taulukko 8.)

6.2.6 Tulosten analysoinnin yhteenveto

Referenssimittauspiste oli tutkimuksen lähtökohta. Se kiinnitettiin mahdollisimman oikeaoppisesti annettujen ohjeistusten mukaisesti ja se toimi testipisteiden vertailukohdaksi. Siihen verrattaessa suurimmat heilahdusnopeuden erot keskiarvona ilmaistuna mitattiin vertailuissa kevyeen rakenteeseen ylös kiinnitettyyn anturiin sekä vertailussa 15 ° kulmaan asennettuun anturiin. Kevyeen rakenteeseen ylös asennettuun anturi mittasi keskimäärin 55,3 % suurempia arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi. Siitä mitattiin myös suurin prosentuaalinen ero yksittäisessä räjäytyksessä verrattaessa referenssimittauspisteeseen. Kolmannessa räjäytyksessä näiden kahden välinen ero oli 445 %. Sitä vastoin 15° kulmaan asennettu anturi mittasi keskimäärin 49,0 % pienempiä arvoja kuin referenssimittauspisteen anturi.

Mittausvirheiden suuruudet olivat ennakoitua suuremmat. Tämä selittyy vähäisellä tutkimusaineistolla aiheesta ja sillä, että kokeen olosuhteet olivat tehdyn tutkimuksen kannalta otolliset: etäisyys louhintoihin oli pieni, rakenteet oli perustettu kallion päälle ja tärinätasot korkeita. Kuitenkin, esimerkiksi kevyen väliseinään kiinnitettyjen anturien tapauksessa tulisi analysointi laajentaa käsittelemään muitakin mitattuja suureita kuin heilahdusnopeuden pystykomponentin arvot. Tällöin voitaisiin luoda selkeämpiä ohjeistuksia asennustapavirheiden vaikutuksista mittaustuloksiin.

7 YHTEENVETO

Tutkimuksen kohdevalinta osoittautui työn tavoitteiden kannalta hyväksi ja mittauksilla saatiin edustavia ja selkeitä tuloksia. Työssä mitattiin sekä asennustapavirheiden että asennuspaikan vaikutusta heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoihin. Resonanssin ja antureiden välisten etäisyyden muuttujat oletettiin analyyseissä olemattomiksi. Tulosten perusteella tärinämittarin asennustavalla ja -tarkkuudella on huomattava vaikutus mitattuihin heilahdusnopeuksiin. Mitatut erot ovat laadultaan kokemusperäisen tiedon kanssa samanlaisia, joskin suurempia. Tutkimuksessa tehtyjen kokeiden perusteella tärinämittariasennuksen yksityiskohtiin tulee kiinnittää huomiota.

Asennustapavirheestä johtuvan mittaustuloksen virheen suuruus kasvaa tärinätason kasvaessa ja etäisyyden pienentyessä. Tämän voidaan osoittaa koskevan sekä virheellisiä anturikiinnityksiä, että asennuspaikan valinnalla aiheutettuja asennusvirheitä. Se ei myöskään erottele virheen suuntaa: joissakin asennustapavirheissä saadut mittaustulokset ovat pienempiä, joissakin suurempia kuin oikein asennetulla anturilla. Molemmissa tapauksissa mitattujen heilahdusnopeuden arvojen erotus kasvaa pienillä louhintaetäisyyksillä. Lisäksi tutkimuksen mukaan anturin virheellinen asennus voi vaikuttaa yli 30 % keskimääräisen muutoksen heilahdusnopeuden arvoihin. Mitattujen virheiden suuruus vaikuttaa olennaisesti mittaustuloksen tulkintaan. Asentamalla anturi virheellisesti, voidaan sen mittaama heilahdusnopeuden arvo saada muuttumaan niin, ettei mitattua tulosta voi pitää edustavana ja vertailukelpoisena ohjearvoihin.

Asennuspaikan valinnalla nähtiin asennustarkkuuden ohella olevan vaikutusta mittaustuloksiin. Tutkimuksen suurimmat yksittäiset heilahdusnopeuden erot saatiin vertaamalla tiiliseinään ja teräsbetonipilariin kiinnitettyjä antureita referenssimittauspisteeseen. Vastaavasti pienimmät asennuspaikan valinnalla aiheutetut heilahdusnopeuden erot saatiin samaan seinärakenteeseen ja referenssimittauspisteen lähelle asennetuista antureista. Vaikka suuri osa tehdyistä vertailuista puoltaa teoriaa heilahdusnopeuksien kasvamisesta asennettaessa anturit annettujen ohjeistusten vastaisesti tai sitä sivuten, on myös mahdollista että virheellisesti sijoitettu tai kiinnitetty anturi mittaa pienempiä arvoja kuin oikein asennettu. Tämän tutkimuksen pohjalta ainut keino saada vertailukelpoisia mittaustuloksia ohjearvoihin nähden on yhtenäistää toimintatavat mittarien kiinnitykseen ja niiden sijoitteluun rakenteissa.

Lähteet:

Aatos, S. 2003. Luonnonkivituotannon elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Suomen ympäristö 656. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita Prima Oy.

DIN 4150. Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Deutsche Norm DIN 4150 Teil 3.

Instantel. 2001. MiniMate Plus Operator Manual: Software Version 4.3. Instantel Inc.

Lehto, H., Luoma T. 1994. Fysiikka 2: Fysiikka yhteiskunnassa, Aaltoliike, Kirjayhtymä Oy.

Rakentamisen aiheuttamat tärinät- projekti. Taustaselvitykset, 2009. TTY Tampereen teknillinen yliopisto, maa- ja pohjarakenteet.

RIL 253–2010. Rakentamisen aiheuttamat tärinät 2010. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Sigicom. INFRA V10, V11 and V12 Geophone Manual ver. B (firmware version 1.6). 2012. Sigicom AB.

Sinervo, V. 2012. Herkkien laitteiden tärinäeristys louhintatärinältä, opinnäytetyö. TAMK, Tampere.

Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting. USBM RI-8507.

Svensk Standard SS 460 4866. 1991. Vibration och stöt – Riktvärden för sprängninginducerade vibrationer i byggnader. Svensk Elektriska Kommissionen. Stockholm: SIS.

Tuovinen, J. Diplomi-insinööri. 2014. Haastattelut 2.10.- 20.11.2014. Haastattelija Järvinen, T. Helsinki.

VTT tiedote 2425. 2008. Rakennukseen siirtyvän liiketärinän arviointi.

Vuolio, R., Halonen, T. 2010. Räjätystyöt. Suomen rakennusmedia Oy. Helsinki: Tammerprint Oy.

Vuolio, R., Paavola, P. 2008. Rakentamisen aiheuttamista tärinöistä ja niiden huomioonottamisesta, Suomen Geoteknillinen Yhdistys.

Vuolio, R. 1991. Räjätystyöt. 3 p. Forssa, Forssan kirjapaino Oy.

<http://vibrationdamage.com>

www.sigicom.com/Sigicom/infra_monitoring_system.aspx

www.sms-tsunamiwarning.com/pages/seismic-waves

LIITTEET

Liite 1. Mittaustulokset etäisyys- ja aikatietoineen 6.10.- 24.10.2014

1(21)

Mittauspiste	Päivämäärä	Aika	Arvo	Yksikkö	etäisyys	räjäytys
MP1: Testi 1 - V	24.10.2014	8:01	29,9	mm/s	8	28
MP1: Testi 1 - L	24.10.2014	8:01	49,5	mm/s	8	28
MP1: Testi 1 - T	24.10.2014	8:01	35	mm/s	8	28
MP1: Testi 2 - V	24.10.2014	8:01	28,5	mm/s	8	28
MP1: Testi 2 - L	24.10.2014	8:01	79,4	mm/s	8	28
MP1: Testi 2 - T	24.10.2014	8:01	79,9	mm/s	8	28
MP1: Testi 3	24.10.2014	8:01	44,8	mm/s	8	28
MP1: Testi 4	24.10.2014	8:01	83,3	mm/s	8	28
MP1: Testi 5 - V	24.10.2014	8:01	27,1	mm/s	8	28
MP1: Testi 5 - L	24.10.2014	8:01	48,1	mm/s	8	28
MP1: Testi 5 - T	24.10.2014	8:01	38,5	mm/s	8	28
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	24.10.2014	8:01	39,2	mm/s	9	28
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	24.10.2014	8:01	47,2	mm/s	9	28
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	24.10.2014	8:01	23,4	mm/s	9	28
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	24.10.2014	8:01	46,2	mm/s	9	28
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	24.10.2014	8:01	43,7	mm/s	9	28
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	24.10.2014	8:01	30,8	mm/s	9	28
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	24.10.2014	8:01	99,7	mm/s	11	28
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	24.10.2014	8:01	188	mm/s	11	28
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	24.10.2014	8:01	72,5	mm/s	11	28
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	24.10.2014	8:01	55,7	mm/s	11	28
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	24.10.2014	8:01	142	mm/s	11	28
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	24.10.2014	8:01	74,7	mm/s	11	28
MP4: Testi 12	24.10.2014	8:01	16,5	mm/s	9	28
MP4: Testi 13	24.10.2014	8:01	23,1	mm/s	9	28
MP4: Testi 14	24.10.2014	8:01	38,1	mm/s	8	28
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	24.10.2014	8:01	41,7	mm/s	8	28
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	24.10.2014	8:01	74,6	mm/s	8	28
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	24.10.2014	8:01	31,7	mm/s	8	28
MP4: Testi 16 15ast	24.10.2014	8:01	18,1	mm/s	9	28
MP4: Testi 17 30ast	24.10.2014	8:01	43,2	mm/s	9	28
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	24.10.2014	8:01	44,3	mm/s	8	28
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	24.10.2014	8:01	79,2	mm/s	8	28
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	24.10.2014	8:01	35,5	mm/s	8	28
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	24.10.2014	8:01	37,6	mm/s	8	28
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	24.10.2014	8:01	52,7	mm/s	8	28
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	24.10.2014	8:01	50,5	mm/s	8	28
MP1: Testi 1 - V	23.10.2014	15:01	9,1	mm/s	38	27
MP1: Testi 1 - L	23.10.2014	15:01	9,2	mm/s	38	27

2(21)

MP1: Testi 1 - T	23.10.2014	15:01	11,1	mm/s	38	27
MP1: Testi 2 - V	23.10.2014	15:01	8,6	mm/s	38	27
MP1: Testi 2 - L	23.10.2014	15:01	13,1	mm/s	38	27
MP1: Testi 2 - T	23.10.2014	15:01	13	mm/s	38	27
MP1: Testi 3	23.10.2014	15:01	8,25	mm/s	38	27
MP1: Testi 4	23.10.2014	15:01	13,9	mm/s	38	27
MP1: Testi 5 - V	23.10.2014	15:01	9,6	mm/s	38	27
MP1: Testi 5 - L	23.10.2014	15:01	12	mm/s	38	27
MP1: Testi 5 - T	23.10.2014	15:01	9,4	mm/s	38	27
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	23.10.2014	15:01	9,65	mm/s	36	27
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	23.10.2014	15:01	7,3	mm/s	36	27
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	23.10.2014	15:01	8,95	mm/s	36	27
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	23.10.2014	15:01	6,6	mm/s	36	27
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	23.10.2014	15:01	8,8	mm/s	36	27
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	23.10.2014	15:01	9,75	mm/s	36	27
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	23.10.2014	15:01	9,95	mm/s	40	27
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	23.10.2014	15:01	24,8	mm/s	40	27
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	23.10.2014	15:01	14,1	mm/s	40	27
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	23.10.2014	15:01	16,3	mm/s	40	27
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	23.10.2014	15:01	14,5	mm/s	40	27
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	23.10.2014	15:01	15	mm/s	40	27
MP4: Testi 12	23.10.2014	15:01	5,3	mm/s	38	27
MP4: Testi 13	23.10.2014	15:01	4,6	mm/s	38	27
MP4: Testi 14	23.10.2014	15:01	7,2	mm/s	38	27
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	23.10.2014	15:01	12,7	mm/s	38	27
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	23.10.2014	15:01	17,3	mm/s	38	27
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	23.10.2014	15:01	11,7	mm/s	38	27
MP4: Testi 16 15ast	23.10.2014	15:01	4,9	mm/s	38	27
MP4: Testi 17 30ast	23.10.2014	15:01	9,7	mm/s	38	27
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	23.10.2014	15:01	16	mm/s	38	27
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	23.10.2014	15:01	10,6	mm/s	38	27
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	23.10.2014	15:01	13,5	mm/s	38	27
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	23.10.2014	15:01	7,6	mm/s	38	27
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	23.10.2014	15:01	8,9	mm/s	38	27
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	23.10.2014	15:01	5,45	mm/s	38	27
MP1: Testi 1 - V	23.10.2014	8:01	22,9	mm/s	25	26
MP1: Testi 1 - L	23.10.2014	8:01	27,3	mm/s	25	26
MP1: Testi 1 - T	23.10.2014	8:01	25,8	mm/s	25	26
MP1: Testi 2 - V	23.10.2014	8:01	18,2	mm/s	25	26
MP1: Testi 2 - L	23.10.2014	8:01	52,4	mm/s	25	26
MP1: Testi 2 - T	23.10.2014	8:01	34,8	mm/s	25	26
MP1: Testi 3	23.10.2014	8:01	26,3	mm/s	25	26
MP1: Testi 4	23.10.2014	8:01	50,1	mm/s	25	26

MP1: Testi 5 - V	23.10.2014	8:01	15,6	mm/s	25	26
MP1: Testi 5 - L	23.10.2014	8:01	24,5	mm/s	25	26
MP1: Testi 5 - T	23.10.2014	8:01	24,6	mm/s	25	26
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	23.10.2014	8:01	37,2	mm/s	22	26
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	23.10.2014	8:01	39,1	mm/s	22	26
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	23.10.2014	8:01	21,4	mm/s	22	26
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	23.10.2014	8:01	32	mm/s	22	26
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	23.10.2014	8:01	41,7	mm/s	22	26
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	23.10.2014	8:01	22,7	mm/s	22	26
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	23.10.2014	8:01	30,1	mm/s	27	26
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	23.10.2014	8:01	76,5	mm/s	27	26
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	23.10.2014	8:01	55,6	mm/s	27	26
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	23.10.2014	8:01	46,9	mm/s	27	26
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	23.10.2014	8:01	75,5	mm/s	27	26
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	23.10.2014	8:01	33,8	mm/s	27	26
MP4: Testi 12	23.10.2014	8:01	12,8	mm/s	26	26
MP4: Testi 13	23.10.2014	8:01	13,2	mm/s	26	26
MP4: Testi 14	23.10.2014	8:01	20,5	mm/s	25	26
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	23.10.2014	8:01	27	mm/s	25	26
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	23.10.2014	8:01	38,7	mm/s	25	26
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	23.10.2014	8:01	31,7	mm/s	25	26
MP4: Testi 16 15ast	23.10.2014	8:01	15,7	mm/s	26	26
MP4: Testi 17 30ast	23.10.2014	8:01	18,7	mm/s	26	26
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	23.10.2014	8:01	35,2	mm/s	25	26
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	23.10.2014	8:01	38,7	mm/s	25	26
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	23.10.2014	8:01	33,4	mm/s	25	26
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	23.10.2014	8:01	33,7	mm/s	25	26
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	23.10.2014	8:01	23,3	mm/s	25	26
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	23.10.2014	8:01	31,3	mm/s	25	26
MP1: Testi 1 - V	22.10.2014	15:01	19,8	mm/s	10	25
MP1: Testi 1 - L	22.10.2014	15:01	25,4	mm/s	10	25
MP1: Testi 1 - T	22.10.2014	15:01	17,7	mm/s	10	25
MP1: Testi 2 - V	22.10.2014	15:01	29,6	mm/s	10	25
MP1: Testi 2 - L	22.10.2014	15:01	35	mm/s	10	25
MP1: Testi 2 - T	22.10.2014	15:01	26,3	mm/s	10	25
MP1: Testi 3	22.10.2014	15:01	27,1	mm/s	10	25
MP1: Testi 4	22.10.2014	15:01	68,7	mm/s	10	25
MP1: Testi 5 - V	22.10.2014	15:01	15,9	mm/s	10	25
MP1: Testi 5 - L	22.10.2014	15:01	23,4	mm/s	10	25
MP1: Testi 5 - T	22.10.2014	15:01	21,3	mm/s	10	25
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	22.10.2014	15:01	20,5	mm/s	8	25
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	22.10.2014	15:01	22,3	mm/s	8	25
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	22.10.2014	15:01	19,6	mm/s	8	25

MP2: Testi 11 seinä Alas - V	22.10.2014	15:01	22,7	mm/s	8	25
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	22.10.2014	15:01	19,2	mm/s	8	25
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	22.10.2014	15:01	19,1	mm/s	8	25
MP4: Testi 12	22.10.2014	15:01	7,45	mm/s	11	25
MP4: Testi 13	22.10.2014	15:01	10,2	mm/s	11	25
MP4: Testi 14	22.10.2014	15:01	19,2	mm/s	11	25
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	22.10.2014	15:01	25,7	mm/s	10	25
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	22.10.2014	15:01	36,2	mm/s	10	25
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	22.10.2014	15:01	16,8	mm/s	10	25
MP4: Testi 16 15ast	22.10.2014	15:01	10,9	mm/s	11	25
MP4: Testi 17 30ast	22.10.2014	15:01	20,9	mm/s	11	25
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	22.10.2014	15:01	23,5	mm/s	10	25
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	22.10.2014	15:01	29,8	mm/s	10	25
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	22.10.2014	15:01	22,4	mm/s	10	25
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	22.10.2014	15:01	20,8	mm/s	10	25
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	22.10.2014	15:01	22,6	mm/s	10	25
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	22.10.2014	15:01	16,7	mm/s	10	25
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	22.10.2014	15:01	22,8	mm/s	13	25
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	22.10.2014	15:01	93,4	mm/s	13	25
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	22.10.2014	15:01	25,9	mm/s	13	25
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	22.10.2014	15:01	32,7	mm/s	13	25
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	22.10.2014	15:01	86,4	mm/s	13	25
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	22.10.2014	15:01	22,2	mm/s	13	25
MP1: Testi 1 - V	22.10.2014	11:03	15,1	mm/s	32	24
MP1: Testi 1 - L	22.10.2014	11:03	21,8	mm/s	32	24
MP1: Testi 1 - T	22.10.2014	11:03	20,3	mm/s	32	24
MP1: Testi 2 - V	22.10.2014	11:03	14,3	mm/s	32	24
MP1: Testi 2 - L	22.10.2014	11:03	23,8	mm/s	32	24
MP1: Testi 2 - T	22.10.2014	11:03	31,4	mm/s	32	24
MP1: Testi 3	22.10.2014	11:03	18,3	mm/s	32	24
MP1: Testi 4	22.10.2014	11:03	27,8	mm/s	32	24
MP1: Testi 5 - V	22.10.2014	11:03	15,5	mm/s	32	24
MP1: Testi 5 - L	22.10.2014	11:03	21,3	mm/s	32	24
MP1: Testi 5 - T	22.10.2014	11:03	19,4	mm/s	32	24
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	22.10.2014	11:03	21,6	mm/s	35	24
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	22.10.2014	11:03	56,2	mm/s	35	24
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	22.10.2014	11:03	41,2	mm/s	35	24
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	22.10.2014	11:03	34,8	mm/s	35	24
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	22.10.2014	11:03	48	mm/s	35	24
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	22.10.2014	11:03	35,6	mm/s	35	24
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	22.10.2014	11:03	22,1	mm/s	29	24
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	22.10.2014	11:03	22,7	mm/s	29	24
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	22.10.2014	11:03	15,7	mm/s	29	24

MP2: Testi 11 seinä Alas - V	22.10.2014	11:03	18,3	mm/s	29	24
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	22.10.2014	11:03	27,9	mm/s	29	24
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	22.10.2014	11:03	15,8	mm/s	29	24
MP4: Testi 12	22.10.2014	11:03	11,3	mm/s	33	24
MP4: Testi 13	22.10.2014	11:03	12,3	mm/s	33	24
MP4: Testi 14	22.10.2014	11:03	16,1	mm/s	33	24
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	22.10.2014	11:03	25	mm/s	32	24
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	22.10.2014	11:03	32,6	mm/s	32	24
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	22.10.2014	11:03	23,7	mm/s	32	24
MP4: Testi 16 15ast	22.10.2014	11:03	15,1	mm/s	33	24
MP4: Testi 17 30ast	22.10.2014	11:03	21,1	mm/s	33	24
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	22.10.2014	11:03	20,7	mm/s	32	24
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	22.10.2014	11:03	23,9	mm/s	32	24
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	22.10.2014	11:03	21,3	mm/s	32	24
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	22.10.2014	11:03	24,9	mm/s	32	24
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	22.10.2014	11:03	19,1	mm/s	32	24
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	22.10.2014	11:03	19,4	mm/s	32	24
MP1: Testi 1 - V	22.10.2014	8:01	14,3	mm/s	43	23
MP1: Testi 1 - L	22.10.2014	8:01	13,7	mm/s	43	23
MP1: Testi 1 - T	22.10.2014	8:01	9,35	mm/s	43	23
MP1: Testi 2 - V	22.10.2014	8:01	10,1	mm/s	43	23
MP1: Testi 2 - L	22.10.2014	8:01	15,6	mm/s	43	23
MP1: Testi 2 - T	22.10.2014	8:01	13	mm/s	43	23
MP1: Testi 3	22.10.2014	8:01	9,55	mm/s	43	23
MP1: Testi 4	22.10.2014	8:01	20,4	mm/s	43	23
MP1: Testi 5 - V	22.10.2014	8:01	12,3	mm/s	43	23
MP1: Testi 5 - L	22.10.2014	8:01	14,1	mm/s	43	23
MP1: Testi 5 - T	22.10.2014	8:01	20,7	mm/s	43	23
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	22.10.2014	8:01	11,9	mm/s	45	23
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	22.10.2014	8:01	25,7	mm/s	45	23
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	22.10.2014	8:01	17,5	mm/s	45	23
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	22.10.2014	8:01	20,4	mm/s	45	23
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	22.10.2014	8:01	23,5	mm/s	45	23
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	22.10.2014	8:01	16	mm/s	45	23
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	22.10.2014	8:01	12,7	mm/s	40	23
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	22.10.2014	8:01	9,5	mm/s	40	23
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	22.10.2014	8:01	12,1	mm/s	40	23
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	22.10.2014	8:01	9,8	mm/s	40	23
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	22.10.2014	8:01	10,4	mm/s	40	23
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	22.10.2014	8:01	9,65	mm/s	40	23
MP4: Testi 12	22.10.2014	8:01	9,55	mm/s	43	23
MP4: Testi 13	22.10.2014	8:01	9,4	mm/s	43	23
MP4: Testi 14	22.10.2014	8:01	13,6	mm/s	43	23

MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	22.10.2014	8:01	17,3	mm/s	43	23
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	22.10.2014	8:01	21,6	mm/s	43	23
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	22.10.2014	8:01	11,5	mm/s	43	23
MP4: Testi 16 15ast	22.10.2014	8:01	8,95	mm/s	43	23
MP4: Testi 17 30ast	22.10.2014	8:01	16,2	mm/s	43	23
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	22.10.2014	8:01	15,4	mm/s	43	23
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	22.10.2014	8:01	16,4	mm/s	43	23
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	22.10.2014	8:01	11,4	mm/s	43	23
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	22.10.2014	8:01	10,6	mm/s	43	23
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	22.10.2014	8:01	12,1	mm/s	43	23
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	22.10.2014	8:01	15,9	mm/s	43	23
MP1: Testi 1 - V	21.10.2014	15:01	17,7	mm/s	26	22
MP1: Testi 1 - L	21.10.2014	15:01	28	mm/s	26	22
MP1: Testi 1 - T	21.10.2014	15:01	20,8	mm/s	26	22
MP1: Testi 2 - V	21.10.2014	15:01	29,8	mm/s	26	22
MP1: Testi 2 - L	21.10.2014	15:01	46,5	mm/s	26	22
MP1: Testi 2 - T	21.10.2014	15:01	30,5	mm/s	26	22
MP1: Testi 3	21.10.2014	15:01	23,8	mm/s	26	22
MP1: Testi 4	21.10.2014	15:01	57	mm/s	26	22
MP1: Testi 5 - V	21.10.2014	15:01	20	mm/s	26	22
MP1: Testi 5 - L	21.10.2014	15:01	17,5	mm/s	26	22
MP1: Testi 5 - T	21.10.2014	15:01	20,9	mm/s	26	22
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	21.10.2014	15:01	24	mm/s	22	22
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	21.10.2014	15:01	26,6	mm/s	22	22
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	21.10.2014	15:01	22,3	mm/s	22	22
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	21.10.2014	15:01	23,8	mm/s	22	22
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	21.10.2014	15:01	16,4	mm/s	22	22
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	21.10.2014	15:01	16,1	mm/s	22	22
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	21.10.2014	15:01	26,8	mm/s	28	22
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	21.10.2014	15:01	88,8	mm/s	28	22
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	21.10.2014	15:01	29,3	mm/s	28	22
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	21.10.2014	15:01	42,8	mm/s	28	22
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	21.10.2014	15:01	82,3	mm/s	28	22
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	21.10.2014	15:01	27,4	mm/s	28	22
MP4: Testi 12	21.10.2014	15:01	11,1	mm/s	27	22
MP4: Testi 13	21.10.2014	15:01	14,8	mm/s	27	22
MP4: Testi 14	21.10.2014	15:01	19,2	mm/s	27	22
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	21.10.2014	15:01	25,5	mm/s	26	22
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	21.10.2014	15:01	40,9	mm/s	26	22
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	21.10.2014	15:01	21,3	mm/s	26	22
MP4: Testi 16 15ast	21.10.2014	15:01	11,7	mm/s	27	22
MP4: Testi 17 30ast	21.10.2014	15:01	20,8	mm/s	27	22
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	21.10.2014	15:01	25,4	mm/s	26	22
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	21.10.2014	15:01	29,3	mm/s	26	22
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	21.10.2014	15:01	20,9	mm/s	26	22

MP4: Testi 7 väärinpäin - V	21.10.2014	15:01	23,3	mm/s	26	22
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	21.10.2014	15:01	23,2	mm/s	26	22
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	21.10.2014	15:01	22,2	mm/s	26	22
MP1: Testi 1 - V	21.10.2014	11:03	1,1	mm/s	20	21
MP1: Testi 1 - L	21.10.2014	11:03	2,25	mm/s	20	21
MP1: Testi 1 - T	21.10.2014	11:03	2,05	mm/s	20	21
MP1: Testi 2 - V	21.10.2014	11:03	1,6	mm/s	20	21
MP1: Testi 2 - L	21.10.2014	11:03	1,95	mm/s	20	21
MP1: Testi 2 - T	21.10.2014	11:03	3	mm/s	20	21
MP1: Testi 3	21.10.2014	11:03	1,4	mm/s	20	21
MP1: Testi 4	21.10.2014	11:03	8,85	mm/s	20	21
MP1: Testi 5 - V	21.10.2014	11:03	1,05	mm/s	20	21
MP1: Testi 5 - L	21.10.2014	11:03	1,55	mm/s	20	21
MP1: Testi 5 - T	21.10.2014	11:03	3,5	mm/s	20	21
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	21.10.2014	11:03	1,7	mm/s	21	21
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	21.10.2014	11:03	3,45	mm/s	21	21
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	21.10.2014	11:03	5,25	mm/s	21	21
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	21.10.2014	11:03	1,85	mm/s	21	21
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	21.10.2014	11:03	2,9	mm/s	21	21
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	21.10.2014	11:03	2,35	mm/s	21	21
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	21.10.2014	11:03	1,05	mm/s	13	21
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	21.10.2014	11:03	2,1	mm/s	13	21
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	21.10.2014	11:03	1,7	mm/s	13	21
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	21.10.2014	11:03	1,5	mm/s	13	21
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	21.10.2014	11:03	1,3	mm/s	13	21
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	21.10.2014	11:03	1,35	mm/s	13	21
MP4: Testi 12	21.10.2014	11:03	0,85	mm/s	21	21
MP4: Testi 13	21.10.2014	11:03	0,85	mm/s	21	21
MP4: Testi 14	21.10.2014	11:03	1	mm/s	21	21
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	21.10.2014	11:03	1,65	mm/s	20	21
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	21.10.2014	11:03	3,3	mm/s	20	21
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	21.10.2014	11:03	2,1	mm/s	20	21
MP4: Testi 16 15ast	21.10.2014	11:03	1	mm/s	21	21
MP4: Testi 17 30ast	21.10.2014	11:03	1,3	mm/s	21	21
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	21.10.2014	11:03	2,5	mm/s	20	21
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	21.10.2014	11:03	1,35	mm/s	20	21
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	21.10.2014	11:03	2,45	mm/s	20	21
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	21.10.2014	11:03	1,75	mm/s	20	21
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	21.10.2014	11:03	1,55	mm/s	20	21
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	21.10.2014	11:03	0,25	mm/s	20	21
MP1: Testi 1 - V	21.10.2014	8:01	16,5	mm/s	41	20
MP1: Testi 1 - L	21.10.2014	8:01	22,5	mm/s	41	20
MP1: Testi 1 - T	21.10.2014	8:01	15	mm/s	41	20

MP1: Testi 2 - V	21.10.2014	8:01	13,1	mm/s	41	20
MP1: Testi 2 - L	21.10.2014	8:01	24,9	mm/s	41	20
MP1: Testi 2 - T	21.10.2014	8:01	21,2	mm/s	41	20
MP1: Testi 3	21.10.2014	8:01	17	mm/s	41	20
MP1: Testi 4	21.10.2014	8:01	27,6	mm/s	41	20
MP1: Testi 5 - V	21.10.2014	8:01	14,9	mm/s	41	20
MP1: Testi 5 - L	21.10.2014	8:01	20	mm/s	41	20
MP1: Testi 5 - T	21.10.2014	8:01	18,5	mm/s	41	20
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	21.10.2014	8:01	14,2	mm/s	43	20
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	21.10.2014	8:01	37,6	mm/s	43	20
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	21.10.2014	8:01	29,1	mm/s	43	20
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	21.10.2014	8:01	27,2	mm/s	43	20
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	21.10.2014	8:01	30,9	mm/s	43	20
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	21.10.2014	8:01	24,8	mm/s	43	20
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	21.10.2014	8:01	16,4	mm/s	37	20
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	21.10.2014	8:01	16,1	mm/s	37	20
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	21.10.2014	8:01	17	mm/s	37	20
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	21.10.2014	8:01	13	mm/s	37	20
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	21.10.2014	8:01	10,4	mm/s	37	20
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	21.10.2014	8:01	14,9	mm/s	37	20
MP4: Testi 12	21.10.2014	8:01	8,45	mm/s	42	20
MP4: Testi 13	21.10.2014	8:01	11,9	mm/s	42	20
MP4: Testi 14	21.10.2014	8:01	14,7	mm/s	42	20
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	21.10.2014	8:01	22,6	mm/s	41	20
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	21.10.2014	8:01	30,9	mm/s	41	20
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	21.10.2014	8:01	14,9	mm/s	41	20
MP4: Testi 16 15ast	21.10.2014	8:01	9,1	mm/s	42	20
MP4: Testi 17 30ast	21.10.2014	8:01	11,8	mm/s	42	20
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	21.10.2014	8:01	17,9	mm/s	41	20
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	21.10.2014	8:01	26,2	mm/s	41	20
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	21.10.2014	8:01	19,3	mm/s	41	20
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	21.10.2014	8:01	12,2	mm/s	41	20
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	21.10.2014	8:01	20,8	mm/s	41	20
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	21.10.2014	8:01	13	mm/s	41	20
MP1: Testi 1 - V	20.10.2014	15:01	20,1	mm/s	20	19
MP1: Testi 1 - L	20.10.2014	15:01	25,9	mm/s	20	19
MP1: Testi 1 - T	20.10.2014	15:01	16,8	mm/s	20	19
MP1: Testi 2 - V	20.10.2014	15:01	23,6	mm/s	20	19
MP1: Testi 2 - L	20.10.2014	15:01	31,6	mm/s	20	19
MP1: Testi 2 - T	20.10.2014	15:01	22,9	mm/s	20	19
MP1: Testi 3	20.10.2014	15:01	21,3	mm/s	20	19
MP1: Testi 4	20.10.2014	15:01	49,9	mm/s	20	19
MP1: Testi 5 - V	20.10.2014	15:01	17,4	mm/s	20	19
MP1: Testi 5 - L	20.10.2014	15:01	19	mm/s	20	19
MP1: Testi 5 - T	20.10.2014	15:01	17,1	mm/s	20	19

MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	20.10.2014	15:01	18,2	mm/s	13	19
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	20.10.2014	15:01	27,9	mm/s	13	19
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	20.10.2014	15:01	14,6	mm/s	13	19
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	20.10.2014	15:01	18	mm/s	13	19
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	20.10.2014	15:01	17,5	mm/s	13	19
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	20.10.2014	15:01	13,8	mm/s	13	19
MP4: Testi 12	20.10.2014	15:01	9,25	mm/s	21	19
MP4: Testi 13	20.10.2014	15:01	13,7	mm/s	21	19
MP4: Testi 14	20.10.2014	15:01	19,1	mm/s	22	19
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	20.10.2014	15:01	26	mm/s	20	19
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	20.10.2014	15:01	43,9	mm/s	20	19
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	20.10.2014	15:01	20,3	mm/s	20	19
MP4: Testi 16 15ast	20.10.2014	15:01	12,1	mm/s	21	19
MP4: Testi 17 30ast	20.10.2014	15:01	26,1	mm/s	21	19
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	20.10.2014	15:01	19,7	mm/s	20	19
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	20.10.2014	15:01	27,1	mm/s	20	19
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	20.10.2014	15:01	18,7	mm/s	20	19
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	20.10.2014	15:01	24,2	mm/s	20	19
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	20.10.2014	15:01	22,2	mm/s	20	19
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	20.10.2014	15:01	23,1	mm/s	20	19
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	20.10.2014	15:01	24,5	mm/s	22	19
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	20.10.2014	15:01	91,8	mm/s	22	19
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	20.10.2014	15:01	21,9	mm/s	22	19
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	20.10.2014	15:01	40,2	mm/s	22	19
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	20.10.2014	15:01	70,6	mm/s	22	19
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	20.10.2014	15:01	22,2	mm/s	22	19
MP1: Testi 1 - V	20.10.2014	11:02	0,1	mm/s	41	18
MP1: Testi 1 - V	20.10.2014	11:02	6,2	mm/s	41	18
MP1: Testi 1 - L	20.10.2014	11:02	8,85	mm/s	41	18
MP1: Testi 1 - T	20.10.2014	11:02	6,95	mm/s	41	18
MP1: Testi 2 - V	20.10.2014	11:02	6,9	mm/s	41	18
MP1: Testi 2 - L	20.10.2014	11:02	9,6	mm/s	41	18
MP1: Testi 2 - T	20.10.2014	11:02	9,1	mm/s	41	18
MP1: Testi 3	20.10.2014	11:02	7,15	mm/s	41	18
MP1: Testi 4	20.10.2014	11:02	17,5	mm/s	41	18
MP1: Testi 5 - V	20.10.2014	11:02	5,85	mm/s	41	18
MP1: Testi 5 - L	20.10.2014	11:02	6,65	mm/s	41	18
MP1: Testi 5 - T	20.10.2014	11:02	8,95	mm/s	41	18
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	20.10.2014	11:02	10,7	mm/s	44	18
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	20.10.2014	11:02	17,7	mm/s	44	18
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	20.10.2014	11:02	13,1	mm/s	44	18
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	20.10.2014	11:02	16,9	mm/s	44	18
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	20.10.2014	11:02	21,9	mm/s	44	18
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	20.10.2014	11:02	15,4	mm/s	44	18

10(21)

MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	20.10.2014	11:02	10,5	mm/s	37	18
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	20.10.2014	11:02	9,75	mm/s	37	18
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	20.10.2014	11:02	9,05	mm/s	37	18
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	20.10.2014	11:02	5,85	mm/s	37	18
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	20.10.2014	11:02	6,1	mm/s	37	18
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	20.10.2014	11:02	7,25	mm/s	37	18
MP4: Testi 12	20.10.2014	11:02	4,9	mm/s	42	18
MP4: Testi 13	20.10.2014	11:02	5,35	mm/s	42	18
MP4: Testi 14	20.10.2014	11:02	6,05	mm/s	42	18
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	20.10.2014	11:02	10	mm/s	41	18
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	20.10.2014	11:02	13	mm/s	41	18
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	20.10.2014	11:02	8,15	mm/s	41	18
MP4: Testi 16 15ast	20.10.2014	11:02	4,8	mm/s	42	18
MP4: Testi 17 30ast	20.10.2014	11:02	8,05	mm/s	42	18
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	20.10.2014	11:02	11,3	mm/s	41	18
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	20.10.2014	11:02	12,5	mm/s	41	18
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	20.10.2014	11:02	8,05	mm/s	41	18
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	20.10.2014	11:02	4,4	mm/s	41	18
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	20.10.2014	11:02	7,4	mm/s	41	18
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	20.10.2014	11:02	3,8	mm/s	41	18
MP1: Testi 1 - V	17.10.2014	11:02	11,7	mm/s	45	17
MP1: Testi 1 - L	17.10.2014	11:02	15,9	mm/s	45	17
MP1: Testi 1 - T	17.10.2014	11:02	13,8	mm/s	45	17
MP1: Testi 2 - V	17.10.2014	11:02	10,1	mm/s	45	17
MP1: Testi 2 - L	17.10.2014	11:02	16,6	mm/s	45	17
MP1: Testi 2 - T	17.10.2014	11:02	17,3	mm/s	45	17
MP1: Testi 3	17.10.2014	11:02	14	mm/s	45	17
MP1: Testi 4	17.10.2014	11:02	27,7	mm/s	45	17
MP1: Testi 5 - V	17.10.2014	11:02	13,4	mm/s	45	17
MP1: Testi 5 - L	17.10.2014	11:02	14,6	mm/s	45	17
MP1: Testi 5 - T	17.10.2014	11:02	14	mm/s	45	17
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	17.10.2014	11:02	19,8	mm/s	39	17
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	17.10.2014	11:02	15,6	mm/s	39	17
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	17.10.2014	11:02	21,1	mm/s	39	17
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	17.10.2014	11:02	10,7	mm/s	39	17
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	17.10.2014	11:02	11	mm/s	39	17
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	17.10.2014	11:02	10,8	mm/s	39	17
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	17.10.2014	11:02	14,1	mm/s	47	17
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	17.10.2014	11:02	36,8	mm/s	47	17
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	17.10.2014	11:02	24,1	mm/s	47	17
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	17.10.2014	11:02	21,4	mm/s	47	17
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	17.10.2014	11:02	26,7	mm/s	47	17
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	17.10.2014	11:02	18,8	mm/s	47	17

MP1: Testi 1 - V	17.10.2014	8:05	16,6	mm/s	23	16
MP1: Testi 1 - L	17.10.2014	8:05	21,4	mm/s	23	16
MP1: Testi 1 - T	17.10.2014	8:05	15,4	mm/s	23	16
MP1: Testi 2 - V	17.10.2014	8:05	19,7	mm/s	23	16
MP1: Testi 2 - L	17.10.2014	8:05	25,9	mm/s	23	16
MP1: Testi 2 - T	17.10.2014	8:05	19	mm/s	23	16
MP1: Testi 3	17.10.2014	8:05	20,5	mm/s	23	16
MP1: Testi 4	17.10.2014	8:05	39,5	mm/s	23	16
MP1: Testi 5 - V	17.10.2014	8:05	14,5	mm/s	23	16
MP1: Testi 5 - L	17.10.2014	8:05	17,3	mm/s	23	16
MP1: Testi 5 - T	17.10.2014	8:05	15,7	mm/s	23	16
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	17.10.2014	8:05	15,7	mm/s	16	16
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	17.10.2014	8:05	16,9	mm/s	16	16
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	17.10.2014	8:05	15,1	mm/s	16	16
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	17.10.2014	8:05	13,4	mm/s	16	16
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	17.10.2014	8:05	11,7	mm/s	16	16
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	17.10.2014	8:05	15,3	mm/s	16	16
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	17.10.2014	8:05	18,5	mm/s	24	16
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	17.10.2014	8:05	60	mm/s	24	16
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	17.10.2014	8:05	20,5	mm/s	24	16
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	17.10.2014	8:05	25,6	mm/s	24	16
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	17.10.2014	8:05	57,9	mm/s	24	16
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	17.10.2014	8:05	20,9	mm/s	24	16
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	16.10.2014	15:02	8,15	mm/s	40	15
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	16.10.2014	15:02	9,05	mm/s	40	15
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	16.10.2014	15:02	8,5	mm/s	40	15
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	16.10.2014	15:02	10,4	mm/s	40	15
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	16.10.2014	15:02	9	mm/s	40	15
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	16.10.2014	15:02	8,1	mm/s	40	15
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	16.10.2014	15:02	22	mm/s	48	15
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	16.10.2014	15:02	28,5	mm/s	48	15
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	16.10.2014	15:02	17,2	mm/s	48	15
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	16.10.2014	15:02	21,1	mm/s	48	15
MP1: Testi 1 - V	16.10.2014	11:02	4,3	mm/s	29	14
MP1: Testi 1 - L	16.10.2014	11:02	6,55	mm/s	29	14
MP1: Testi 1 - T	16.10.2014	11:02	5,55	mm/s	29	14
MP1: Testi 2 - V	16.10.2014	11:02	5,8	mm/s	29	14
MP1: Testi 2 - L	16.10.2014	11:02	8,3	mm/s	29	14
MP1: Testi 2 - T	16.10.2014	11:02	8,5	mm/s	29	14
MP1: Testi 3	16.10.2014	11:02	7,85	mm/s	29	14
MP1: Testi 4	16.10.2014	11:02	16,9	mm/s	29	14
MP1: Testi 5 - V	16.10.2014	11:02	4,4	mm/s	29	14
MP1: Testi 5 - L	16.10.2014	11:02	5,9	mm/s	29	14
MP1: Testi 5 - T	16.10.2014	11:02	7,2	mm/s	29	14

MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	16.10.2014	11:02	5,6	mm/s	22	14
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	16.10.2014	11:02	6,4	mm/s	22	14
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	16.10.2014	11:02	4,15	mm/s	22	14
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	16.10.2014	11:02	6,85	mm/s	22	14
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	16.10.2014	11:02	6	mm/s	22	14
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	16.10.2014	11:02	5,25	mm/s	22	14
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	16.10.2014	11:02	5,1	mm/s	30	14
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	16.10.2014	11:02	19,7	mm/s	30	14
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	16.10.2014	11:02	5,75	mm/s	30	14
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	16.10.2014	11:02	16	mm/s	30	14
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	16.10.2014	11:02	21,2	mm/s	30	14
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	16.10.2014	11:02	10,2	mm/s	30	14
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	15.10.2014	17:43	0,1	mm/s	46	13
MP1: Testi 1 - V	15.10.2014	17:43	12,9	mm/s	44	13
MP1: Testi 1 - L	15.10.2014	17:43	19	mm/s	44	13
MP1: Testi 1 - T	15.10.2014	17:43	14,7	mm/s	44	13
MP1: Testi 2 - V	15.10.2014	17:43	12,2	mm/s	44	13
MP1: Testi 2 - L	15.10.2014	17:43	28,3	mm/s	44	13
MP1: Testi 2 - T	15.10.2014	17:43	18,2	mm/s	44	13
MP1: Testi 3	15.10.2014	17:43	14	mm/s	44	13
MP1: Testi 4	15.10.2014	17:43	33	mm/s	44	13
MP1: Testi 5 - V	15.10.2014	17:43	10	mm/s	44	13
MP1: Testi 5 - L	15.10.2014	17:43	16,5	mm/s	44	13
MP1: Testi 5 - T	15.10.2014	17:43	14,3	mm/s	44	13
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	15.10.2014	17:43	14,4	mm/s	38	13
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	15.10.2014	17:43	19,6	mm/s	38	13
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	15.10.2014	17:43	15,6	mm/s	38	13
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	15.10.2014	17:43	10,4	mm/s	38	13
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	15.10.2014	17:43	11,8	mm/s	38	13
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	15.10.2014	17:43	11,1	mm/s	38	13
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	15.10.2014	17:43	13,1	mm/s	46	13
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	15.10.2014	17:43	49,2	mm/s	46	13
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	15.10.2014	17:43	21,3	mm/s	46	13
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	15.10.2014	17:43	23,8	mm/s	46	13
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	15.10.2014	17:43	39,1	mm/s	46	13
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	15.10.2014	17:43	17,5	mm/s	46	13
MP1: Testi 1 - V	15.10.2014	11:03	7,7	mm/s	49	12
MP1: Testi 1 - L	15.10.2014	11:03	9,9	mm/s	49	12
MP1: Testi 1 - T	15.10.2014	11:03	14,4	mm/s	49	12
MP1: Testi 2 - V	15.10.2014	11:03	11,1	mm/s	49	12
MP1: Testi 2 - L	15.10.2014	11:03	16,9	mm/s	49	12
MP1: Testi 2 - T	15.10.2014	11:03	13,7	mm/s	49	12
MP1: Testi 3	15.10.2014	11:03	10,8	mm/s	49	12
MP1: Testi 4	15.10.2014	11:03	23,9	mm/s	49	12

MP1: Testi 5 - V	15.10.2014	11:03	5,65	mm/s	49	12
MP1: Testi 5 - L	15.10.2014	11:03	8,55	mm/s	49	12
MP1: Testi 5 - T	15.10.2014	11:03	13,3	mm/s	49	12
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	15.10.2014	11:03	9,05	mm/s	43	12
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	15.10.2014	11:03	12,3	mm/s	43	12
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	15.10.2014	11:03	8,4	mm/s	43	12
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	15.10.2014	11:03	6,85	mm/s	43	12
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	15.10.2014	11:03	6,55	mm/s	43	12
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	15.10.2014	11:03	9,4	mm/s	43	12
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	15.10.2014	11:03	13,5	mm/s	51	12
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	15.10.2014	11:03	36,7	mm/s	51	12
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	15.10.2014	11:03	14,7	mm/s	51	12
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	15.10.2014	11:03	19,6	mm/s	51	12
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	15.10.2014	11:03	41,6	mm/s	51	12
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	15.10.2014	11:03	12,8	mm/s	51	12
MP1: Testi 1 - V	14.10.2014	15:02	25,3	mm/s	42	11
MP1: Testi 1 - L	14.10.2014	15:02	26,5	mm/s	42	11
MP1: Testi 1 - T	14.10.2014	15:02	21,7	mm/s	42	11
MP1: Testi 2 - V	14.10.2014	15:02	20,1	mm/s	42	11
MP1: Testi 2 - L	14.10.2014	15:02	31,6	mm/s	42	11
MP1: Testi 2 - T	14.10.2014	15:02	32,9	mm/s	42	11
MP1: Testi 3	14.10.2014	15:02	13,2	mm/s	42	11
MP1: Testi 4	14.10.2014	15:02	21,5	mm/s	42	11
MP1: Testi 5 - V	14.10.2014	15:02	19,8	mm/s	42	11
MP1: Testi 5 - L	14.10.2014	15:02	29,4	mm/s	42	11
MP1: Testi 5 - T	14.10.2014	15:02	30,6	mm/s	42	11
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	14.10.2014	15:02	11,2	mm/s	43	11
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	14.10.2014	15:02	10,9	mm/s	43	11
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	14.10.2014	15:02	12,4	mm/s	43	11
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	14.10.2014	15:02	10,7	mm/s	43	11
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	14.10.2014	15:02	10,5	mm/s	43	11
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	14.10.2014	15:02	14,3	mm/s	43	11
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	14.10.2014	15:02	14,4	mm/s	45	11
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	14.10.2014	15:02	42,3	mm/s	45	11
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	14.10.2014	15:02	27,5	mm/s	45	11
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	14.10.2014	15:02	24,4	mm/s	45	11
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	14.10.2014	15:02	29,6	mm/s	45	11
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	14.10.2014	15:02	19	mm/s	45	11
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	13.10.2014	8:01	0,85	mm/s	33	10
MP1: Testi 1 - V	13.10.2014	8:01	7,4	mm/s	32	10
MP1: Testi 1 - L	13.10.2014	8:01	15,8	mm/s	32	10
MP1: Testi 1 - T	13.10.2014	8:01	20,2	mm/s	32	10

MP1: Testi 2 - V	13.10.2014	8:01	9,25	mm/s	32	10
MP1: Testi 2 - L	13.10.2014	8:01	14	mm/s	32	10
MP1: Testi 2 - T	13.10.2014	8:01	19,9	mm/s	32	10
MP1: Testi 3	13.10.2014	8:01	9,15	mm/s	32	10
MP1: Testi 4	13.10.2014	8:01	31,5	mm/s	32	10
MP1: Testi 5 - V	13.10.2014	8:01	5,65	mm/s	32	10
MP1: Testi 5 - L	13.10.2014	8:01	11,7	mm/s	32	10
MP1: Testi 5 - T	13.10.2014	8:01	21,2	mm/s	32	10
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	13.10.2014	8:01	10	mm/s	24	10
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	13.10.2014	8:01	15,2	mm/s	24	10
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	13.10.2014	8:01	13,5	mm/s	24	10
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	13.10.2014	8:01	10,4	mm/s	24	10
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	13.10.2014	8:01	7,35	mm/s	24	10
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	13.10.2014	8:01	9,2	mm/s	24	10
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	13.10.2014	8:01	17,6	mm/s	33	10
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	13.10.2014	8:01	40,3	mm/s	33	10
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	13.10.2014	8:01	21,5	mm/s	33	10
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	13.10.2014	8:01	16,5	mm/s	33	10
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	13.10.2014	8:01	31,9	mm/s	33	10
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	13.10.2014	8:01	20,8	mm/s	33	10
MP1: Testi 1 - V	9.10.2014	17:41	7,25	mm/s	41	9
MP1: Testi 1 - L	9.10.2014	17:41	17,9	mm/s	41	9
MP1: Testi 1 - T	9.10.2014	17:41	17,5	mm/s	41	9
MP1: Testi 2 - V	9.10.2014	17:41	10,5	mm/s	41	9
MP1: Testi 2 - L	9.10.2014	17:41	19,8	mm/s	41	9
MP1: Testi 2 - T	9.10.2014	17:41	18,2	mm/s	41	9
MP1: Testi 3	9.10.2014	17:41	11,9	mm/s	41	9
MP1: Testi 4	9.10.2014	17:41	29,8	mm/s	41	9
MP1: Testi 5 - V	9.10.2014	17:41	9,35	mm/s	41	9
MP1: Testi 5 - L	9.10.2014	17:41	11,3	mm/s	41	9
MP1: Testi 5 - T	9.10.2014	17:41	21,5	mm/s	41	9
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	9.10.2014	17:41	13,2	mm/s	33	9
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	9.10.2014	17:41	12	mm/s	33	9
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	9.10.2014	17:41	11,8	mm/s	33	9
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	9.10.2014	17:41	10,4	mm/s	33	9
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	9.10.2014	17:41	9,15	mm/s	33	9
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	9.10.2014	17:41	10	mm/s	33	9
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	9.10.2014	17:41	14,5	mm/s	42	9
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	9.10.2014	17:41	39,5	mm/s	42	9
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	9.10.2014	17:41	31,2	mm/s	42	9
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	9.10.2014	17:41	16,1	mm/s	42	9
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	9.10.2014	17:41	31,8	mm/s	42	9
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	9.10.2014	17:41	15	mm/s	42	9
MP4: Testi 12	9.10.2014	17:41	5,35	mm/s	42	9
MP4: Testi 13	9.10.2014	17:41	5,55	mm/s	42	9

15(21)

MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	9.10.2014	17:41	7,85	mm/s	41	9
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	9.10.2014	17:41	19,1	mm/s	41	9
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	9.10.2014	17:41	16,1	mm/s	41	9
MP4: Testi 16 15ast	9.10.2014	17:41	8,7	mm/s	42	9
MP4: Testi 17 30ast	9.10.2014	17:41	15,2	mm/s	42	9
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	9.10.2014	17:41	13,7	mm/s	41	9
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	9.10.2014	17:41	15,2	mm/s	41	9
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	9.10.2014	17:41	15,2	mm/s	41	9
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	9.10.2014	17:41	15,9	mm/s	41	9
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	9.10.2014	17:41	10,4	mm/s	41	9
MP1: Testi 1 - V	9.10.2014	11:02	7,2	mm/s	38	8
MP1: Testi 1 - L	9.10.2014	11:02	12,3	mm/s	38	8
MP1: Testi 1 - T	9.10.2014	11:02	11,2	mm/s	38	8
MP1: Testi 2 - V	9.10.2014	11:02	6,9	mm/s	38	8
MP1: Testi 2 - L	9.10.2014	11:02	10,5	mm/s	38	8
MP1: Testi 2 - T	9.10.2014	11:02	13	mm/s	38	8
MP1: Testi 3	9.10.2014	11:02	7,7	mm/s	38	8
MP1: Testi 4	9.10.2014	11:02	13,9	mm/s	38	8
MP1: Testi 5 - V	9.10.2014	11:02	6,3	mm/s	38	8
MP1: Testi 5 - L	9.10.2014	11:02	10,9	mm/s	38	8
MP1: Testi 5 - T	9.10.2014	11:02	8,9	mm/s	38	8
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	9.10.2014	11:02	5,2	mm/s	39	8
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	9.10.2014	11:02	5,1	mm/s	39	8
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	9.10.2014	11:02	5,55	mm/s	39	8
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	9.10.2014	11:02	5,75	mm/s	39	8
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	9.10.2014	11:02	4,45	mm/s	39	8
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	9.10.2014	11:02	6,8	mm/s	39	8
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	9.10.2014	11:02	6	mm/s	41	8
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	9.10.2014	11:02	15,5	mm/s	41	8
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	9.10.2014	11:02	8,35	mm/s	41	8
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	9.10.2014	11:02	7,6	mm/s	41	8
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	9.10.2014	11:02	11	mm/s	41	8
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	9.10.2014	11:02	7,3	mm/s	41	8
MP4: Testi 12	9.10.2014	11:02	3,2	mm/s	38	8
MP4: Testi 13	9.10.2014	11:02	3,75	mm/s	38	8
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	9.10.2014	11:02	10,3	mm/s	38	8
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	9.10.2014	11:02	13,8	mm/s	38	8
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	9.10.2014	11:02	10,3	mm/s	38	8
MP4: Testi 16 15ast	9.10.2014	11:02	4,8	mm/s	38	8
MP4: Testi 17 30ast	9.10.2014	11:02	9,05	mm/s	38	8
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	9.10.2014	11:02	9,9	mm/s	38	8
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	9.10.2014	11:02	6,5	mm/s	38	8

MP4: Testi 7 väärinpäin - V	9.10.2014	11:02	8,25	mm/s	38	8
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	9.10.2014	11:02	10,1	mm/s	38	8
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	9.10.2014	11:02	5,25	mm/s	38	8
MP1: Testi 1 - V	8.10.2014	15:02	3,25	mm/s	50	7
MP1: Testi 1 - L	8.10.2014	15:02	6,05	mm/s	50	7
MP1: Testi 1 - T	8.10.2014	15:02	5,5	mm/s	50	7
MP1: Testi 2 - V	8.10.2014	15:02	4	mm/s	50	7
MP1: Testi 2 - L	8.10.2014	15:02	9,95	mm/s	50	7
MP1: Testi 2 - T	8.10.2014	15:02	8,35	mm/s	50	7
MP1: Testi 3	8.10.2014	15:02	4,45	mm/s	50	7
MP1: Testi 4	8.10.2014	15:02	12,6	mm/s	50	7
MP1: Testi 5 - V	8.10.2014	15:02	3,95	mm/s	50	7
MP1: Testi 5 - L	8.10.2014	15:02	4,2	mm/s	50	7
MP1: Testi 5 - T	8.10.2014	15:02	8,4	mm/s	50	7
MP4: Testi 12	8.10.2014	15:02	2,65	mm/s	51	7
MP4: Testi 13	8.10.2014	15:02	2,5	mm/s	51	7
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	8.10.2014	15:02	3,6	mm/s	50	7
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	8.10.2014	15:02	7,4	mm/s	50	7
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	8.10.2014	15:02	4,9	mm/s	50	7
MP4: Testi 16 15ast	8.10.2014	15:02	2,75	mm/s	51	7
MP4: Testi 17 30ast	8.10.2014	15:02	7,95	mm/s	51	7
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	8.10.2014	15:02	5,6	mm/s	50	7
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	8.10.2014	15:02	8,25	mm/s	50	7
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	8.10.2014	15:02	4,3	mm/s	50	7
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	8.10.2014	15:02	5,15	mm/s	50	7
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	8.10.2014	15:02	1,35	mm/s	50	7
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	8.10.2014	15:02	5,65	mm/s	43	7
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	8.10.2014	15:02	6,5	mm/s	43	7
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	8.10.2014	15:02	3,85	mm/s	43	7
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	8.10.2014	15:02	3,85	mm/s	43	7
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	8.10.2014	15:02	3,2	mm/s	43	7
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	8.10.2014	15:02	3,8	mm/s	43	7
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	8.10.2014	15:02	4,85	mm/s	51	7
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	8.10.2014	15:02	18	mm/s	51	7
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	8.10.2014	15:02	7,85	mm/s	51	7
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	8.10.2014	15:02	5,45	mm/s	51	7
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	8.10.2014	15:02	15	mm/s	51	7
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	8.10.2014	15:02	5,6	mm/s	51	7
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	8.10.2014	11:04	0,2	mm/s	11	6
MP1: Testi 1 - V	8.10.2014	11:04	5,95	mm/s	9	6
MP1: Testi 1 - L	8.10.2014	11:04	8,85	mm/s	9	6
MP1: Testi 1 - T	8.10.2014	11:04	7,3	mm/s	9	6
MP1: Testi 2 - V	8.10.2014	11:04	7,25	mm/s	9	6
MP1: Testi 2 - L	8.10.2014	11:04	16,9	mm/s	9	6
MP1: Testi 2 - T	8.10.2014	11:04	12,3	mm/s	9	6

17(21)

MP1: Testi 3	8.10.2014	11:04	13,3	mm/s	9	6
MP1: Testi 4	8.10.2014	11:04	20,1	mm/s	9	6
MP1: Testi 5 - V	8.10.2014	11:04	7,05	mm/s	9	6
MP1: Testi 5 - L	8.10.2014	11:04	8,95	mm/s	9	6
MP1: Testi 5 - T	8.10.2014	11:04	8,2	mm/s	9	6
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	8.10.2014	11:04	18,1	mm/s	14	6
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	8.10.2014	11:04	10,1	mm/s	14	6
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	8.10.2014	11:04	19,3	mm/s	14	6
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	8.10.2014	11:04	17,9	mm/s	14	6
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	8.10.2014	11:04	11,8	mm/s	14	6
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	8.10.2014	11:04	19	mm/s	14	6
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	8.10.2014	11:04	13,1	mm/s	11	6
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	8.10.2014	11:04	18,2	mm/s	11	6
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	8.10.2014	11:04	12,4	mm/s	11	6
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	8.10.2014	11:04	11,6	mm/s	11	6
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	8.10.2014	11:04	18,4	mm/s	11	6
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	8.10.2014	11:04	7,35	mm/s	11	6
MP4: Testi 12	8.10.2014	11:04	4,9	mm/s	8	6
MP4: Testi 13	8.10.2014	11:04	5,15	mm/s	8	6
MP4: Testi 14	8.10.2014	11:04	6,8	mm/s	8	6
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	8.10.2014	11:04	9,65	mm/s	9	6
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	8.10.2014	11:04	16,9	mm/s	9	6
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	8.10.2014	11:04	7,6	mm/s	9	6
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	8.10.2014	11:04	11,7	mm/s	9	6
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	8.10.2014	11:04	20,1	mm/s	9	6
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	8.10.2014	11:04	8,6	mm/s	9	6
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	8.10.2014	11:04	5,05	mm/s	9	6
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	8.10.2014	11:04	7,8	mm/s	9	6
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	8.10.2014	11:04	7,45	mm/s	9	6
MP1: Testi 1 - V	7.10.2014	15:08	3,95	mm/s	41	5
MP1: Testi 1 - L	7.10.2014	15:08	4,15	mm/s	41	5
MP1: Testi 1 - T	7.10.2014	15:08	3,05	mm/s	41	5
MP1: Testi 2 - V	7.10.2014	15:08	2,45	mm/s	41	5
MP1: Testi 2 - L	7.10.2014	15:08	3,3	mm/s	41	5
MP1: Testi 2 - T	7.10.2014	15:08	4,15	mm/s	41	5
MP1: Testi 3	7.10.2014	15:08	2,6	mm/s	41	5
MP1: Testi 4	7.10.2014	15:08	5,5	mm/s	41	5
MP1: Testi 5 - V	7.10.2014	15:08	3,05	mm/s	41	5
MP1: Testi 5 - L	7.10.2014	15:08	5,05	mm/s	41	5
MP1: Testi 5 - T	7.10.2014	15:08	3,75	mm/s	41	5
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	7.10.2014	15:08	3,9	mm/s	44	5
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	7.10.2014	15:08	11,7	mm/s	44	5
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	7.10.2014	15:08	3,6	mm/s	44	5

MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	7.10.2014	15:08	4,25	mm/s	44	5
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	7.10.2014	15:08	6,45	mm/s	44	5
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	7.10.2014	15:08	2,45	mm/s	44	5
MP4: Testi 14	7.10.2014	11:02	0,05	mm/s	14	4
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	7.10.2014	11:02	0,1	mm/s	12	4
MP1: Testi 1 - V	7.10.2014	11:02	7	mm/s	12	4
MP1: Testi 1 - L	7.10.2014	11:02	12,5	mm/s	12	4
MP1: Testi 1 - T	7.10.2014	11:02	13,6	mm/s	12	4
MP1: Testi 2 - V	7.10.2014	11:02	13,2	mm/s	12	4
MP1: Testi 2 - L	7.10.2014	11:02	17,4	mm/s	12	4
MP1: Testi 2 - T	7.10.2014	11:02	15,3	mm/s	12	4
MP1: Testi 3	7.10.2014	11:02	12	mm/s	12	4
MP1: Testi 4	7.10.2014	11:02	27,5	mm/s	12	4
MP1: Testi 5 - V	7.10.2014	11:02	7,05	mm/s	12	4
MP1: Testi 5 - L	7.10.2014	11:02	10,2	mm/s	12	4
MP1: Testi 5 - T	7.10.2014	11:02	16	mm/s	12	4
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	7.10.2014	11:02	14,1	mm/s	7	4
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	7.10.2014	11:02	19,6	mm/s	7	4
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	7.10.2014	11:02	12,9	mm/s	7	4
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	7.10.2014	11:02	16,8	mm/s	7	4
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	7.10.2014	11:02	18,8	mm/s	7	4
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	7.10.2014	11:02	11,2	mm/s	7	4
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	7.10.2014	11:02	15,6	mm/s	14	4
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	7.10.2014	11:02	26,3	mm/s	14	4
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	7.10.2014	11:02	16,4	mm/s	14	4
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	7.10.2014	11:02	17,6	mm/s	14	4
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	7.10.2014	11:02	26,3	mm/s	14	4
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	7.10.2014	11:02	15,4	mm/s	14	4
MP4: Testi 12	7.10.2014	11:02	4	mm/s	14	4
MP4: Testi 13	7.10.2014	11:02	4,65	mm/s	14	4
MP4: Testi 14	7.10.2014	11:02	8,9	mm/s	14	4
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	7.10.2014	11:02	9,6	mm/s	12	4
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	7.10.2014	11:02	19,7	mm/s	12	4
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	7.10.2014	11:02	12,7	mm/s	12	4
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	7.10.2014	11:02	16,4	mm/s	12	4
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	7.10.2014	11:02	16,6	mm/s	12	4
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	7.10.2014	11:02	11,1	mm/s	12	4
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	7.10.2014	11:02	9,35	mm/s	12	4
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	7.10.2014	11:02	9,85	mm/s	12	4
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	7.10.2014	11:02	11,7	mm/s	12	4
MP1: Testi 1 - V	7.10.2014	8:02	5,95	mm/s	27	3
MP1: Testi 1 - L	7.10.2014	8:02	14,7	mm/s	27	3
MP1: Testi 1 - T	7.10.2014	8:02	14,8	mm/s	27	3

MP1: Testi 2 - V	7.10.2014	8:02	8,55	mm/s	27	3
MP1: Testi 2 - L	7.10.2014	8:02	14,5	mm/s	27	3
MP1: Testi 2 - T	7.10.2014	8:02	17,3	mm/s	27	3
MP1: Testi 3	7.10.2014	8:02	12,1	mm/s	27	3
MP1: Testi 4	7.10.2014	8:02	26,5	mm/s	27	3
MP1: Testi 5 - V	7.10.2014	8:02	7,3	mm/s	27	3
MP1: Testi 5 - L	7.10.2014	8:02	13,1	mm/s	27	3
MP1: Testi 5 - T	7.10.2014	8:02	15,2	mm/s	27	3
MP4: Testi 12	7.10.2014	8:02	4,35	mm/s	28	3
MP4: Testi 13	7.10.2014	8:02	6,05	mm/s	28	3
MP4: Testi 14	7.10.2014	8:02	7,6	mm/s	28	3
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	7.10.2014	8:02	6,55	mm/s	27	3
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	7.10.2014	8:02	11,7	mm/s	27	3
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	7.10.2014	8:02	13,4	mm/s	27	3
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	7.10.2014	8:02	10,3	mm/s	27	3
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	7.10.2014	8:02	21,2	mm/s	27	3
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	7.10.2014	8:02	14	mm/s	27	3
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	7.10.2014	8:02	13,3	mm/s	27	3
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	7.10.2014	8:02	10,5	mm/s	27	3
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	7.10.2014	8:02	5	mm/s	27	3
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	7.10.2014	8:02	15	mm/s	19	3
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	7.10.2014	8:02	18,3	mm/s	19	3
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	7.10.2014	8:02	14,4	mm/s	19	3
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	7.10.2014	8:02	9,45	mm/s	19	3
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	7.10.2014	8:02	14,2	mm/s	19	3
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	7.10.2014	8:02	10,2	mm/s	19	3
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	7.10.2014	8:02	15,5	mm/s	28	3
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	7.10.2014	8:02	25,3	mm/s	28	3
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	7.10.2014	8:02	29,8	mm/s	28	3
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	7.10.2014	8:02	11,4	mm/s	28	3
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	7.10.2014	8:02	23,2	mm/s	28	3
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	7.10.2014	8:02	13,3	mm/s	28	3
MP1: Testi 1 - V	6.10.2014	15:02	5,65	mm/s	43	2
MP1: Testi 1 - L	6.10.2014	15:02	10,4	mm/s	43	2
MP1: Testi 1 - T	6.10.2014	15:02	10	mm/s	43	2
MP1: Testi 2 - V	6.10.2014	15:02	6,75	mm/s	43	2
MP1: Testi 2 - L	6.10.2014	15:02	9,05	mm/s	43	2
MP1: Testi 2 - T	6.10.2014	15:02	10,1	mm/s	43	2
MP1: Testi 3	6.10.2014	15:02	5,95	mm/s	43	2
MP1: Testi 4	6.10.2014	15:02	11,1	mm/s	43	2
MP1: Testi 5 - V	6.10.2014	15:02	5,05	mm/s	43	2
MP1: Testi 5 - L	6.10.2014	15:02	9,2	mm/s	43	2
MP1: Testi 5 - T	6.10.2014	15:02	8,25	mm/s	43	2

MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	6.10.2014	15:02	7,15	mm/s	40	2
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	6.10.2014	15:02	7,15	mm/s	40	2
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	6.10.2014	15:02	7,3	mm/s	40	2
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	6.10.2014	15:02	4,1	mm/s	40	2
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	6.10.2014	15:02	4,4	mm/s	40	2
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	6.10.2014	15:02	7,65	mm/s	40	2
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	6.10.2014	15:02	9,1	mm/s	45	2
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	6.10.2014	15:02	13,9	mm/s	45	2
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	6.10.2014	15:02	13,9	mm/s	45	2
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	6.10.2014	15:02	6,75	mm/s	45	2
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	6.10.2014	15:02	10,8	mm/s	45	2
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	6.10.2014	15:02	6,95	mm/s	45	2
MP4: Testi 12	6.10.2014	15:02	4,65	mm/s	44	2
MP4: Testi 13	6.10.2014	15:02	4,4	mm/s	44	2
MP4: Testi 14	6.10.2014	15:02	5,45	mm/s	43	2
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	6.10.2014	15:02	6,05	mm/s	43	2
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	6.10.2014	15:02	9,15	mm/s	43	2
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	6.10.2014	15:02	8,25	mm/s	43	2
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	6.10.2014	15:02	6,8	mm/s	43	2
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	6.10.2014	15:02	9,35	mm/s	43	2
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	6.10.2014	15:02	8,5	mm/s	43	2
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	6.10.2014	15:02	6,5	mm/s	43	2
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	6.10.2014	15:02	7,1	mm/s	43	2
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	6.10.2014	15:02	1,4	mm/s	43	2
MP1: Testi 1 - V	6.10.2014	11:03	8	mm/s	45	1
MP1: Testi 1 - L	6.10.2014	11:03	12,6	mm/s	45	1
MP1: Testi 1 - T	6.10.2014	11:03	11,1	mm/s	45	1
MP1: Testi 2 - V	6.10.2014	11:03	10	mm/s	45	1
MP1: Testi 2 - L	6.10.2014	11:03	16,2	mm/s	45	1
MP1: Testi 2 - T	6.10.2014	11:03	15,2	mm/s	45	1
MP1: Testi 3	6.10.2014	11:03	7,1	mm/s	45	1
MP1: Testi 4	6.10.2014	11:03	12,7	mm/s	45	1
MP1: Testi 5 - V	6.10.2014	11:03	6,2	mm/s	45	1
MP1: Testi 5 - L	6.10.2014	11:03	14	mm/s	45	1
MP1: Testi 5 - T	6.10.2014	11:03	15,1	mm/s	45	1
MP2: Testi 10 seinä Ylös - V	6.10.2014	11:03	8,95	mm/s	41	1
MP2: Testi 10 seinä Ylös - L	6.10.2014	11:03	12	mm/s	41	1
MP2: Testi 10 seinä Ylös - T	6.10.2014	11:03	7,25	mm/s	41	1
MP2: Testi 11 seinä Alas - V	6.10.2014	11:03	7,7	mm/s	41	1
MP2: Testi 11 seinä Alas - L	6.10.2014	11:03	7,5	mm/s	41	1
MP2: Testi 11 seinä Alas - T	6.10.2014	11:03	8,65	mm/s	41	1
MP4: Testi 12	6.10.2014	11:03	5,55	mm/s	46	1
MP4: Testi 13	6.10.2014	11:03	5,8	mm/s	46	1
MP4: Testi 14	6.10.2014	11:03	7,25	mm/s	46	1

MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - V	6.10.2014	11:03	8,3	mm/s	45	1
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - L	6.10.2014	11:03	14,4	mm/s	45	1
MP4: Testi 15 Löysä kiinnitys - T	6.10.2014	11:03	9,1	mm/s	45	1
MP4: Testi 6 yksijalkainen - V	6.10.2014	11:03	11,7	mm/s	45	1
MP4: Testi 6 yksijalkainen - L	6.10.2014	11:03	18,1	mm/s	45	1
MP4: Testi 6 yksijalkainen - T	6.10.2014	11:03	12,7	mm/s	45	1
MP4: Testi 7 väärinpäin - V	6.10.2014	11:03	10,2	mm/s	45	1
MP4: Testi 7 väärinpäin - L	6.10.2014	11:03	12	mm/s	45	1
MP4: Testi 7 väärinpäin - T	6.10.2014	11:03	11,6	mm/s	45	1
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - V	6.10.2014	11:03	12,7	mm/s	48	1
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - L	6.10.2014	11:03	21,8	mm/s	48	1
MP3: Testi 8 Pilari Ylös - T	6.10.2014	11:03	16,9	mm/s	48	1
MP3: Testi 9 Pilari Alas - V	6.10.2014	11:03	8,7	mm/s	48	1
MP3: Testi 9 Pilari Alas - L	6.10.2014	11:03	15,9	mm/s	48	1
MP3: Testi 9 Pilari Alas - T	6.10.2014	11:03	7,4	mm/s	48	1

Liite 2. Esimerkki väärinpäin asennetun anturiyksikön heilahdusnopeuden aaltomuoto-
käyrästä.

Oy Finnrock

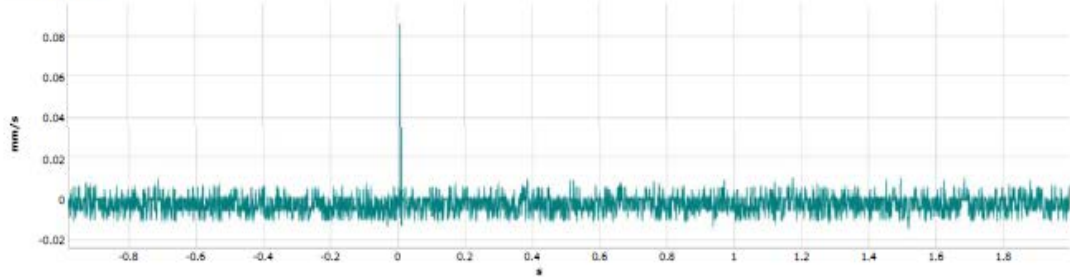
Aaltomuoto

20140822 - Sillamäe

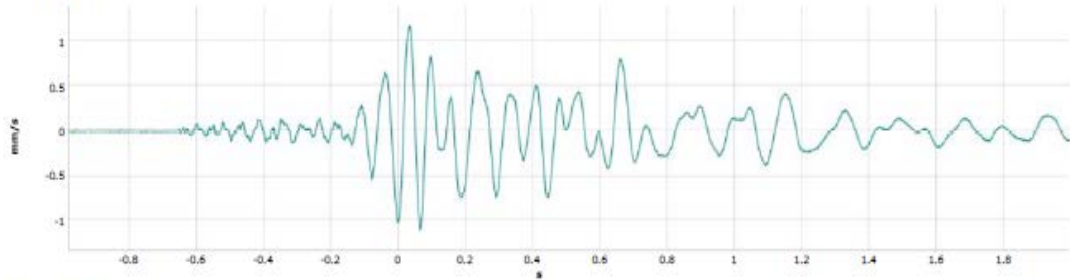
Mittauspiste	sijainti	Päivämäärä	tulokset	Raja	Osa raja	etäisyys	MIC	räjäytys	Huomautus
MP2-V	Masoudi Hoitola	10.9.2014 13:00:49	0.10 mm/s	0.09 m/s ²	0.14 µm	185 Hz	5	2 %	
MP2-L	Masoudi Hoitola	10.9.2014 13:00:49	1.20 mm/s	0.16 m/s ²	13.0 µm	14.1 Hz	5	24 %	
MP2-T	Masoudi Hoitola	10.9.2014 13:00:49	0.10 mm/s	0.09 m/s ²	0.27 µm	179 Hz	5	2 %	

Standardi	aikaväli	Ei RMS	ylipäästö [Hz]	alipäästö [Hz]	taajuusanalyysi	Ikkuna	Mistä [s]	mihin [s]
SS4604866 Spring, 250 mm/s 5-300	Ei kukaan	<input type="checkbox"/>			Ei kukaan	Ei mitään		

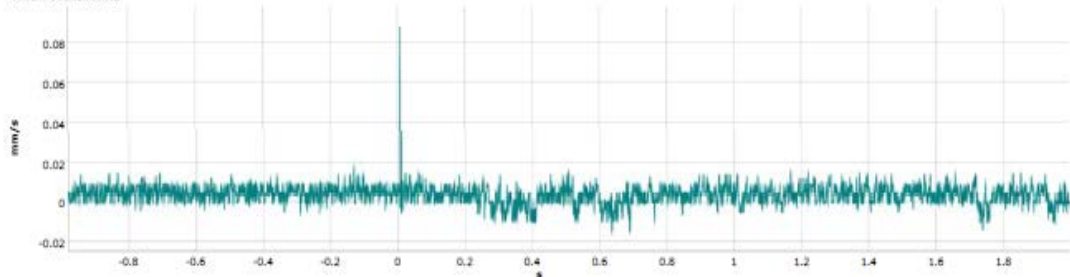
Akseli: Vertikaali



Akseli: Pitkittäinen



Akseli: Vaakaasuunta



**sigicom**

4 Configuration and operation

4.1 Mounting

The V1x Geophone shall be mounted according to:

- V10 shall be mounted either on the wall or on the floor, and have the label parallel with the wall (readable from the side)
- V11 shall be mounted either on the wall or on the floor, and have the label parallel with the floor (readable from above)
- V12 shall be mounted either on the wall or on the floor, and have the label parallel with the floor (readable from above)
- V12R shall be mounted in the ceiling and have the label parallel with the ceiling (readable from below)

Note! For correct measuring results, the mounting angle of the V1x Geophone must not exceed 5° relative to the reference plane.

Note! To facilitate proper communication in electrically harsh environments, the metallic enclosure must not be in contact with any kind of conductive surfaces (the sensor feet are isolated). All cable junctions touching any metal or the ground shall be protected by vulcanized tape.



Example of V10 and V12 Geophone mounting.

Liite 4. Listaus heilahdusnopeuden pystykomponentin arvoista räjäytyksittäin aikavälillä 6.10.- 24.10.2014.

Räjätys	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
1	8	10	7,1	12,7	6,2	11,7	10,2	12,7	8,7	8,95	7,7	5,55	5,8	7,25	8,3		
2	5,65	6,75	5,95	11,1	5,05	6,8	6,5	9,1	6,75	7,15	4,1	4,65	4,4	5,45	6,05		
3	5,95	8,55	12,1	26,5	7,3	10,3	13,3	15,5	11,4	15	9,45	4,35	6,05	7,6	6,55		
4	7	13,2	12	27,5	7,05	16,4	9,35	15,6	17,6	14,1	16,8	4	4,65	8,9	9,6		
5	3,95	2,45	2,6	5,5	3,05			3,9	4,25								
6	5,95	7,25	13,3	20,1	7,05	11,7	5,05	13,1	11,6	18,1	17,9	4,9	5,15	6,8	9,65		
7	3,25	4	4,45	12,6	3,95	5,6	4,3	4,85	5,45	5,65	3,85	2,65	2,5		3,6	2,75	7,95
8	7,2	6,9	7,7	13,9	6,3	9,9	8,25	6	7,6	5,2	5,75	3,2	3,75		10,3	4,8	9,05
9	7,25	10,5	11,9	29,8	9,35	13,7	15,2	14,5	16,1	13,2	10,4	5,35	5,55		7,85	8,7	15,2
10	7,4	9,25	9,15	31,5	5,65			17,6	16,5	10	10,4						
11	25,3	20,1	13,2	21,5	19,8			14,4	24,4	11,2	10,7						
12	7,7	11,1	10,8	23,9	5,65			13,5	19,6	9,05	6,85						
13	12,9	12,2	14	33	10			13,1	23,8	14,4	10,4						
14	4,3	5,8	7,85	16,9	4,4			5,1	16	5,6	6,85						
15	16,6							22	21,1	8,15	10,4						
16	11,7	19,7	20,5	39,5	14,5			18,5	25,6	15,7	13,4						
17	6,2	10,1	14	27,7	13,4			14,1	21,4	19,8	10,7						
18		6,9	7,15	17,5	5,85	11,3	4,4	10,7	16,9	10,5	5,85	4,9	5,35	6,05	10	4,8	8,05
19	20,1	23,6	21,3	49,9	17,4	19,7	24,2	24,5	40,2	18,2	18	9,25	13,7	19,1	26	12,1	26,1
20	16,5	13,1	17	27,6	14,9	17,9	12,2	14,2	27,2	16,4	13	8,45	11,9	14,7	22,6	9,1	11,8
21				8,85													
22	17,7	29,8	23,8	57	20	25,4	23,3	26,8	42,8	24	23,8	11,1	14,8	19,2	25,5	11,7	20,8
23	14,3	10,1	9,55	20,4	12,3	15,4	10,6	11,9	20,4	12,7	9,8	9,55	9,4	13,6	17,3	8,95	16,2
24	15,1	14,3	18,3	27,8	15,5	20,7	24,9	21,6	34,8	22,1	18,3	11,3	12,3	16,1	25	15,1	21,1
25	19,8	29,6	27,1	68,7	15,9	23,5	20,8	22,8	32,7	20,5	22,7	7,45	10,2	19,2	25,7	10,9	20,9
26	22,9	18,2	26,3	50,1	15,6	35,2	33,7	30,1	46,9	37,2	32	12,8	13,2	20,5	27	15,7	18,7
27	9,1	8,6	8,25	13,9	9,6	16	7,6	9,95	16,3	9,65	6,6	5,3	4,6	7,2	12,7	4,9	9,7
28	29,9	28,5	44,8	83,3	27,1	44,3	37,6	99,7	55,7	39,2	46,2	16,5	23,1	38,1	41,7	18,1	43,2